

동해 남부 해역 조하대 해조류 군집구조의 계절적 변화

한수진 · 황용훈 · 손민호 · 최한길¹ · 장재길*

해양생태기술연구소, ¹원광대학교 생명과학부/기초자연과학연구소

Seasonal Variation in Seaweed Community Structure in the Subtidal Zone of the Southern Part of the East Coast of Korea

Su Jin Han, Youg Hun Hwang, Min Ho Son, Han Gil Choi¹ and Jae Gil Jang*

Marine Eco-technology institute Co., Ltd., Busan 48520, Korea

¹Faculty of Biological Science and Institute of Basic Natural Science, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

Seasonal variability in algal community structure of the subtidal zone was examined at four study sites on the south-eastern coast of Korea from February to November 2016. A total of 81 species of algae (8 green, 12 brown, and 61 red) were indentified. During the study period, the greatest number of species was observed at Sinamri (57 species) followed by Daesongri (50 species), Dongbaekri (47 species) and Gangyangri (42 species). Of the six functional seaweed forms, the coarsely-branched form was the most dominant, accounting for about 43% of the total species at Daesongri. The annual average biomass in wet weight varied from 700.59 g/m² at Sinamri to 1,712.45 g/m² at Daesongri. The parameters of seaweed community structures were as follows: dominance index (DI), 0.30-0.54; richness index (R), 4.92-7.05; evenness index (J'), 0.54-0.72; and diversity index (H'), 2.05-2.91.

Key words: Algal flora, Biomass, Community, Diversity, Functional form

서론

해조류는 해양생태계의 중요한 일차생산자로서 상위 먹이사슬 단계에 있는 해양생물의 종다양성, 풍도 및 어장 형성에 많은 영향을 줄 뿐만 아니라(Lindstrom, 2009; Janiak and Whitlatch, 2012; Sathesh and Wesley, 2012), 해양에 투기되는 무기 및 유기 영양염을 흡수하는 생물여과자(biofilter)와 생태계의 안정성을 유지하고 연안의 환경을 모니터링 할 수 있는 생물학적 지시자(biological indicator)로서 중요한 역할을 한다(Wells et al., 2007; Scherner et al., 2013).

해조류의 종조성 및 군집구조는 수온, 광량, 초식압 및 경쟁 등의 다양한 요인들에 영향을 받고 있으며(Kang, 1968; Graham and Wilcox, 2000; Babitha and Subramanian, 2016), 특히 이러한 요인들 중 수온은 해조류의 지리적 분포를 결정짓는 중요한 환경요인으로 알려져 있다(Gessner, 1970; Murray and Littler, 1981; Van den Hoek, 1982a, b; Dawes, 1989; Kim et al., 1998). 지구온난화의 영향으로 우리나라 연안의 수온은 점진적으로 증가하고 있으며, 이는 해양생태계의 교란을 유발함으로

서 해양생물의 종조성, 분포범위, 서식량 등의 변화를 가져온다(Choi and Rho, 2010; Kim and Lee, 2010; Kim et al., 2012). 해양환경의 변화를 예측하고, 해양생태계의 장, 단기적인 변동 특성을 정밀하게 파악하기 위해서는 해양생물의 종조성 및 분포 조사를 통하여 기초 자료를 축적하는 것이 중요하다.

Kang (1966)은 한국 연안 해조류의 지리적 분포를 논하면서 우리나라 연안을 5개 해역(동해안 북부, 동해안 남부, 남해안, 서해안 및 제주도)으로 구분하였다. 동해안 해조류의 생태학적 연구는 1980년대부터 본격적으로 시작되어, 북부에서 남부에 걸쳐 비교적 고르게 조사되었다(Boo, 1985; Boo and Lee, 1986; Kim et al., 1997; Choi et al., 2006; Sohn et al., 2007; Choi et al., 2010). 그 결과 우리나라 동해안에는 총 414종(남조류 33종, 녹조류 51종, 갈조류 99종, 홍조류 231종)의 해조류가 분포하는 것으로 나타났으며, 이를 한국의 전 연안에 생육하는 해조류와 분류군별로 비교해 볼 때, 동해안에는 한국산 해조류의 약 67%가 분포하며, 분류군별로는 남조류 69%, 녹조류 63%, 갈조류 73%, 홍조류 65%가 생육하는 것으로 밝혀졌다(Lee and Kang, 1986; Lee and Kim, 1999). 본 연구지역인 울

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0571>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 51(5), 571-578, October 2018

Received 13 August 2018; Revised 4 September 2018; Accepted 10 September 2018

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 611. 5423 Fax: +82. 51. 611. 0588

E-mail address: jgjang@marine-eco.co.kr

산 울주군과 부산 기장군 주변 해역은 동한난류의 영향을 강하게 받는 곳으로, 특히 동해안 남부와 남해안의 경계구역에 위치하여 해조류의 지리학적 분포를 구분하는데 매우 중요한 지형적 특색을 가지고 있다(Kang et al., 2008; Choi et al., 2010). 연구지역 인근에서 보고된 해조류 연구로는 부산 동백섬, 용호동, 서암, 영도, 오륙도 일대의 해조상 및 군집구조에 관한 연구(Lee and Kang, 1971; Lee, 1972; Lee, 1974; Nam and Kim, 1999; Yoo, 2003a, b; Choi, 2007; Choi and Choi, 2014)와 부산 기장군 해역의 해조상 및 군집구조 변화(Kang et al., 2008; Choi et al., 2010; Yoo et al., 2013) 그리고 울산주변 해역의 해조류 군집구조에 관한 연구(Choi and Rho, 2010) 등이 있다. 그러나 대부분의 연구가 조간대를 대상으로 조사가 이루어져 조하대 해조류 군집의 구조적 특성을 파악하는데 어려움이 있다.

따라서, 본 연구는 동해 남부 연안 조하대에 분포하는 해조류의 군집 특성을 구명하기 위해 해조류의 종조성, 군집지수, 우점종 및 계절별 생물량의 변화를 파악함으로써, 기후 변화에 따른 해양생태계의 변화를 모니터링하기 위한 기초자료로 활용하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구는 동해 남부 연안(울산시 울주군-부산시 기장군)의 4개 정점에서 2016년 2월부터 11월까지 SCUBA diving에 의해 계절별로 수행되었다(Fig. 1). 해조군집 분석을 위한 정량조사는 각 조사 정점에서 해조류 식생을 대표할 수 있는 곳을 선정하여 방형구(50 cm × 50 cm)를 설치하고 방형구내에 서식하는 모든 해조류를 끝칼 등으로 전량 채집하였으며, 해조상을 파악하기 위하여 조사 정점 주변에 서식하는 모든 해조류를 정성채집하였다. 채집된 해조류는 포르말린-해수용액(5-10%)으로 현장에서 고정시켜 실험실로 운반한 후 해부 및 광학현미경을 이용하여 분류 및 동정하였고, 출현종의 목록 및 국명은 국가 생물종 목록집과 AlgaeBase (www.algaebase.org)에 따랐다(Kim et al., 2013; Guiry and Guiry, 2018).

정량 채집된 해조류는 담수로 수 회 세척하여 모래와 불순물을 제거한 후 습중량을 측정하였고, 단위면적당 생물량(g/m^2)으로 환산하였다. 해조류 종별 평균 생물량과 단위면적당 생물량 구성비(%)를 구하여 생물량 구성비가 30% 이상인 종은 우점종으로, 10-30%인 종은 준우점종으로 구분하였다(Kim et

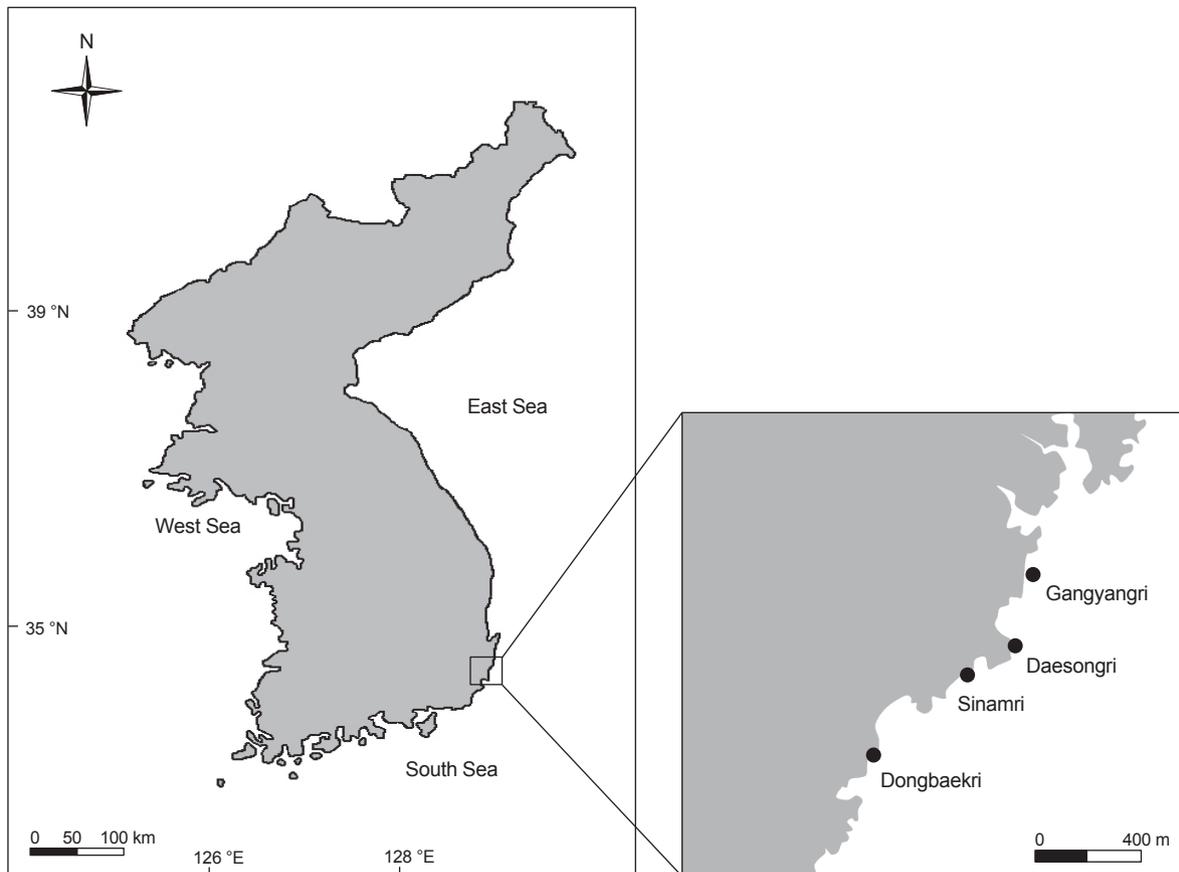


Fig. 1. A map of study site and the location at in the southern part of east coast of Korea.

al., 1995; Kim et al., 1997). 또한, 계절별로 출현한 출현종과 생물량 자료를 이용하여 풍부도지수(richness index, R), Shannon's 다양도지수(diversity index, H')와 균등도지수(evenness index, J')를 계산하였다(Margalef, 1958; Fowler and Cohen, 1990). 우점도지수(dominance index, DI)는 군집 내에서의 생물량 순서에 따라 제1, 2 우점종을 선택하고, 2종의 생물량 합에 대한 총 생물량의 비율로 산출하였고, 군집지수의 산출 및 도식화에는 PRIMER version 6을 이용하였다(McNaughton, 1967; Lee et al., 1983; Clarke and Gorley, 2006).

해조류의 기능형은 출현종의 외부형태, 내부구조, 광합성효율 등에 따라 6개의 그룹(엽상형, 사상형, 성긴분기형, 다육질형, 유절산호말형, 각상형)으로 구분하고(Littler and Littler, 1984), 6개의 기능형을 바탕으로 해조류 엽상체의 체형, 생장속도, 표현형의 적응성과 엽상체의 수명 및 천이속도를 고려하여 생태학적 상태그룹 I, II (ecological status group; ESG I, II)로 구분하였다(Orfandis et al., 2003). 또한, 해조상의 특성을 파악하기 위해 정성 채집된 해조류를 분류 및 동정한 후 출현 종수로 갈조류에 대한 녹조류의 비(C/P), 갈조류에 대한 홍조류의 비(R/P), 갈조류에 대한 녹조류와 홍조류의 비로 (R+C)/P를 구하였다(Feldmann, 1937; Segawa, 1956; Cheney, 1977).

결 과

종조성

본 연구기간에 동해 남부 해역 4개 정점에서 출현한 해조류는 총 81종으로 녹조류 8종, 갈조류 12종, 홍조류 61종이었으며, 홍조류가 전체 출현 종 수의 75.3%를 차지하여 출현율이 가장 높았다. 정점별로는 42-57종이 출현하였으며, 신암리에서 가장 많은 종이 출현하였다. 계절별 출현 종 수는 동계 48종, 춘계 46종, 하계 41종 그리고 추계에 42종으로 동계에 가장 많은 종이 출현한 반면, 하계와 추계에는 다소 낮은 출현율을 보였다(Table 1).

정점별 해조상을 보면, 강양리에서 출현한 해조류는 총 42종(녹조 4, 갈조 7, 홍조 31종)이었으며, 홍조류가 73.8%로 출현율이 가장 높았다. 계절별 출현 종 수는 10-22종으로 동계에 최대였고 추계에 최소였다. 대송리에서는 총 50종(녹조 6, 갈조 7, 홍조 37종)이 출현하였고, 계절별 출현 종 수는 16-29종으로 춘계

에 최대였다. 신암리에서는 홍조류 45종(78.9%)을 포함하여 총 57종이 출현하였다. 계절별로는 22-30종이 출현하였으며, 하계와 추계에 비해 동계와 춘계에 보다 많은 종이 출현하였다. 동백리에서는 총 47종(녹조 4, 갈조 6, 홍조 37종)이 출현하였고, 동계에 27종으로 가장 많은 종이 출현한 반면, 추계에는 17종이 출현하여 가장 낮은 것으로 나타났다.

연구기간 중 정점별 연중 출현한 해조류 종으로는, 강양리에서는 참가죽그물바탕말(*Dictyota coriacea*) 1종, 대송리에서는 잔금분홍잎(*Acrosorium polyneurum*), 부켓살(*Ahnfeltiopsis flabelliformis*), 진두발(*Chondrus ocellatus*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 마디잘록이(*Fushitsunagia catenata*), 참곱슬이(*Plocamium telfairiae*)로 6종, 신암리에서는 잔금분홍잎, 돌가사리(*Chondracanthus tenellus*), 진두발, 작은구슬산호말, 마디잘록이, 참곱슬이, 개우무(*Pterocladia capillacea*)로 7종, 동백리에서는 잔금분홍잎, 돌가사리, 진두발, 마디잘록이, 참곱슬이, 개우무로 총 6종이 확인되었다. 모든 정점에서 출현한 종은 총 23종(녹조류 2, 갈조류 3, 홍조류 18)이었고, 홍조류인 잔금분홍잎, 진두발, 마디잘록이, 참곱슬이 4종은 3개 정점(대송리, 신암리, 동백리)에서 연중 출현한 것으로 나타났다.

기능형

동해 남부 해역 4개 정점에서 출현한 해조류 기능형 그룹을 보면, 엽상형은 8-13종으로 신암리에서 최대, 동백리에서 최소를 보였고, 사상형은 6-10종으로 대성리에서 최대, 강양리에서 최소였다. 성긴분기형은 16-21종으로 대성리와 신암리에서 최대, 강양리에서 최소였으며, 다육질형은 5-6종으로 정점별 큰 차이가 없었다. 유절산호말형은 2-6종으로 신암리에서 최대, 대성리에서 최소였고, 각상형은 1-4종으로 신암리에서 최대, 대성리에서 최소였다(Fig. 2). 또한, ESG I (성긴분기형, 다육질형, 유절산호말형, 각상형)은 전체 출현 해조류 81종 중 50종(61.7%)으로 우세하였으며, ESG II (엽상형, 사상형)는 31종(38.3%)이었다. ESG II 그룹의 정점별 출현종 비율은 신암리에서 35.1%로 낮았고, 대성리에서 40.0%로 높게 나타났다.

생물량 및 우점종

연구지역의 4개 정점 조하대에 서식하는 해조류의 연평균 생물량은 1,081.5 g wet wt./m²이었으며, 대송리에서 1,712.4 g

Table 1. The number of macroalgal species observed at four study sites in the southern part of east coast of Korea

Taxon	Gangyangri					Daesongri					Sinamri					Dongbaekri				
	Wi	Sp	Su	Au	To	Wi	Sp	Su	Au	To	Wi	Sp	Su	Au	To	Wi	Sp	Su	Au	To
Chlorophyta	1	1	3	1	4	1	2	2	5	6	2	3	3	0	5	2	1	3	2	4
Phaeophyta	3	5	4	2	7	4	7	1	3	7	2	3	2	0	7	3	3	0	2	6
Rhodophyta	18	14	7	7	31	19	20	13	19	37	25	24	22	22	45	22	20	17	13	37
Total	22	20	14	10	42	24	29	16	27	50	29	30	27	22	57	27	24	20	17	47

Wi, Winter; Sp, Spring; Su, Summer; Au, Autumn; To, Total.

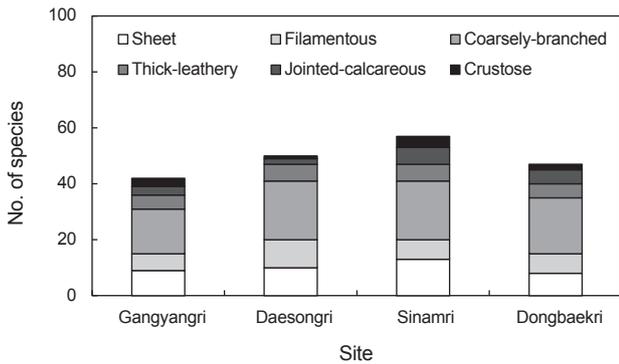


Fig. 2. Number of seaweed species in functional form groups collected at four study sites in the southern part of east coast of Korea during the study period.

wet wt./m²로 최대였고, 신암리에서 700.6 g wet wt./m²로 최소였다. 계절별 생물량은 395.4-2,206.8 g wet wt./m²로 춘계에 최대였고, 추계에 최소로 확인되었다. 각 정점별 생물량은 강양리의 경우 410.8-2,251.3 g wet wt./m² (평균 1,034.0 g wet wt./m²), 대송리에서는 417.7-4,308.7 g wet wt./m² (평균 1,712.5 g wet wt./m²), 동백리에서는 392.9-1,547.6 g wet wt./m² (평균 879.0 g wet wt./m²)로 모두 춘계에 최대 생물량을 보였으며, 신암리에서만 계절별 360.2-924.9 g wet wt./m² (평균 700.6 g wet wt./m²)로 동계에 생물량이 높은 것으로 나타났다(Fig. 3). 분류군별로는 강양리에서만 갈조류가 전체 생체량의 58.1%로 높은 생물량 비율을 보인 것에 반해 그의 3개 정점(대송리, 동백리, 신암리)에서는 홍조류가 85.6-98.9%로 대부분의 구성비율을 차지하는 것으로 나타났다. 해조류의 생물량을 바탕으로 판정한 우점종(30%)과 준우점종(10-30%)을 보면, 강양리에서는 팽생이모자반(*Sargassum homeri*)이 전체 생물량의 37.5%로 우점하였으며, 참가죽그물바탕말(13.2%)과 우뚝가사리(*Gelidium elegans*, 11.5%)가 준우점하였고, 대송리에서는 전체 생물량의 30%이상인 종은 없었으며, 잔금분홍잎(27.9%), 우뚝가사리(26.3%)와 참개도박(*Grateloupia elliptica*, 10.8%)이 준우점종으로 나타났다. 신암리와 동백리에서도 준우점종만 출현하였는데, 신암리에서는 참개도박(15.1%)과 참곱슬이(14.4%), 동백리에서는 돌가사리(20.5%), 참곱슬이(14.6%),

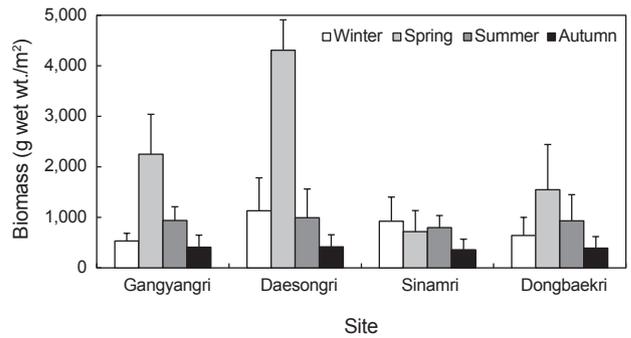


Fig. 3. Seasonal variations in seaweed biomass (g wet wt./m²) at four study sites in the southern part of east coast of Korea. Bar show standard errors (n=2-3 replicates).

잔금분홍잎(12.3%) 그리고 개도박(*Pachymeniopsis lanceolata*, 10.4%)이 준우점종으로 분포하였다(Table 2).

군집지수

해조류의 생물량과 출현 종 수로 산출된 연평균 군집지수를 보면, 대송리에서 제 1, 2 우점종인 잔금분홍잎(477.2 g wet wt./m²)과 우뚝가사리(451.0 g wet wt./m²)가 전체 생물량(1,712.5 g wet wt./m²)의 54.2%를 차지하여 우점도지수(DI)가 0.54로 최대였고, 신암리에서는 제 1, 2 우점종인 참도박(102.0 g wet wt./m²)과 참곱슬이(101.1 g wet wt./m²)가 전체 생물량(700.6 g wet wt./m²)의 29.6%를 차지하여 0.30으로 최소로 나타났다. 연구기간에 4계절 출현 종 수와 평균 생물량을 이용한 풍도지수(R)는 57종이 출현한 신암리에서 최대(7.05)였고, 42종이 출현한 강양리에서 4.92로 최소였으며, 균등도지수(J)는 해조류의 생물량 차이가 크지 않고, 우점도 지수가 낮았던 신암리에서 0.72로 높았다. 풍도와 균등도에 의해 결정되는 종다양도지수(H)는 신암리에서 가장 높은 값(2.91)을 보였으며, 동백리(2.54), 대송리(2.12), 강양리(2.05)의 순서로 나타났다(Table 3).

해조상의 지역적 특성을 나타내는 C/P값은 대송리에서 0.86으로 최대였고, 강양리에서 0.57으로 최소였다. R/P값과 (R+C)/P값은 신암리에서 각각 6.43, 7.14로 최대로 나타났다(Table 3).

Table 2. Dominant (≥ 30%) and subdominant (10-30%) species in terms of average biomass percentage (%) at four study sites in the southern part of east coast of Korea

Site	Dominant and subdominant species
Gangyangri	<i>Sargassum homeri</i> (37.5), <i>Dictyota coriacea</i> (13.2), <i>Gelidium elegans</i> (11.5)
Daesongri	<i>Acrosorium polyneurum</i> (27.9), <i>Gelidium elegans</i> (26.3), <i>Pachymeniopsis elliptica</i> (10.8)
Sinamri	<i>Pachymeniopsis elliptica</i> (15.1), <i>Plocamium telfairiae</i> (14.4)
Dongbaekri	<i>Chondracanthus tenellus</i> (20.5), <i>Plocamium telfairiae</i> (14.6), <i>Acrosorium polyneurum</i> (12.3), <i>Pachymeniopsis lanceolata</i> (10.4)

고찰

해조류의 분류군별 종조성과 출현 종 수(풍도)는 연안환경의 상태와 기후변화를 평가하는 생물학적인 지표자(biological indicator)로 활용된다(Wells et al., 2007). 본 연구의 4개 정점(강양리, 대송리, 신암리, 동백리)에서 채집된 해조류는 총 81종(녹조 8, 갈조 12, 홍조 61종)이었고 정점별로는 42-57종으로 다소 차이를 보였다. 본 연구지역의 인근 해역에서 보고된 해조류 출현 종 수와 비교해 보면, 울진(Choi et al., 2006), 포항(Shin et al., 2011) 그리고 부산 일광만(Kang et al., 2008)에 비해서는 적게 출현한 경향을 보인 반면, 본 연구지역보다 남쪽에 위치한 부산 영도(Choi, 2007), 오륙도(Choi and Choi, 2014), 이기대(Shin et al., 2014), 기장(Yoo et al., 2013) 보다는 많이 출현한 경향을 보였다. 이러한 해조류의 출현 종 수 차이는 조사 지역, 조사 시기 및 수심 그리고 조사 방법에 따라 차이가 있으므로 조사해역의 해조류 종다양성은 자료가 축적된 후 논의되어야 할 것으로 판단된다. 출현종의 분류군별 구성비를 보면, 본 연구에서는 녹조류 9.9%, 갈조류 14.8%, 홍조류 75.3%로 홍조류가 가장 높은 것으로 나타났다. 본 연구지역의 인근 지역에서는 녹조류 9.1-14.5%, 갈조류 10.6-33.3%, 홍조류 54.0-80.3%로 보고되어(Choi et al., 2006; Choi, 2007; Kang et al., 2008; Shin et al., 2011; Yoo et al., 2013; Choi and Choi, 2014; Shin et al., 2014) 녹조류와 갈조류의 구성비가 상대적으로 낮게 나타난 반면, 홍조류는 비교적 높은 것으로 나타났다.

해조류는 안정된 해역에 서식하며 생장이 느린 성긴분기형, 다육질형, 유절산호말형, 각상형 해조류(ESG I)와 환경오염이나 교란된 해역에서 빠른 생장을 보이는 엽상형과 사상형 해조류(ESG II)로 구분되고 기능형군의 구성비율은 해조류 서식 환경상태와 밀접한 관련을 보인다고 알려져 있다(Arévalo et al., 2007; Pinedo et al., 2007, Wells et al., 2007). 본 연구에서 ESG II의 비율은 38.3%로, 조하대의 경우 삼척 갈남에서 41.4% (Kim et al., 2014), 다도해 및 한려해상국립공원 7개 정점에서 30.4% (Oh et al., 2015) 였고, 조간대 조사로 직접적인 비교는 어려우나 한려해상국립공원내 6개 정점에서 36.9% (Oh

et al., 2016), 태안 학암포에서 34.7% (Heo et al., 2015), 고흥군 4개 정점에서 34.0% (Song et al., 2011)로 본 연구해역의 ESG II비율은 다른 해역과 유사하여 아직까지는 해조류가 서식하기에 안정된 환경으로 판단된다.

기초생산자인 해조류의 생물량은 군집의 특성을 나타내는 중요한 척도로서 정점별 생물량 자료를 비교 및 분석하는 것은 연안생태계의 안전성과 생산성을 이해하는데 중요한 자료이다(Choi et al., 2006). 본 연구에서 해조류의 연평균 생물량은 1,081.5 g wet wt./m²이었으며, 계절별 평균 생물량은 395.4-2,206.8 g wet wt./m²로 춘계에 가장 높은 생물량을 보였다. 본 연구지역 인근인 일광만(Kang et al., 2008)에서는 계절별 평균 생물량이 286.1-629.8 g wet wt./m²으로 동계에 가장 높았으며, 이기대(Shin et al., 2014)에서는 123.6-2,061.6 g wet wt./m²으로 하계에 평균 생물량이 가장 높은 것으로 보고되어 상이한 결과를 보였다. 하지만 가장 인접한 기장(Yoo et al., 2013)의 경우, 연 평균 생물량은 1,249.6 g wet wt./m²이었으며, 계절별 평균 생물량은 967.8-1,726.5 g wet wt./m²으로 춘계에 가장 높은 것으로 보고되어 본 연구와 유사한 결과를 보였지만, 생물량은 다소 감소한 것으로 나타났다. 이는 감태(*Ecklonia cava*), 미역(*Undaria pinnatifida*), 팽생이모자반, 참깨도박 등 생물량이 높은 일부 해조류의 번무 및 쇠퇴 시기가 각 해역의 특성에 따라 다소 상이한 것에서 기인된 결과로 판단된다(Yoo et al., 2013; Choi and Choi, 2014).

해조류의 분류군별 출현 종 수를 기준으로 해조류의 지리적 분포 특성을 나타내는 C/P값은 한대에서 아열대 해역에 걸쳐 0.4-1.5범위의 값을 나타냈고(Segawa, 1956), R/P값은 한대와 극지역에서 1.0 이하, 온대지역에서 1.0-4.0, 열대해역에서 4.0 이상을 보였으며(Feldmann, 1937), (R+C)/P값에 따라 온대성 내지 한대성(3이하), 혼합성(3-6), 열대성(6이상) 해조상으로 구분한다(Cheney, 1977). 본 연구지역(강양리, 대송리, 신암리, 동백리)에서는 C/P값이 0.67, R/P값이 5.08, (R+C)/P값이 5.75로 나타나 열대에 가까운 혼합 해조상의 특성을 보였다. 인근 지역의 기존 연구들과 비교해 보면, 일광만(Kang et al., 2008), 기장(Choi et al., 2010)과는 유사하게 나타난 반면, 나머지 다른

Table 3. Average biomass (g wet wt./m²) and various community indices of seaweeds at four sites in the southern part of east coast of Korea

Community indices	Gangyangri	Daesongri	Sinamri	Dongbaekri
Biomass (g/m ²)	1,033.96	1,712.45	700.59	878.96
Dominance index (DI)	0.51	0.54	0.30	0.35
Richness index (R)	4.92	5.55	7.05	5.63
Evenness index (J')	0.55	0.54	0.72	0.66
Diversity index (H')	2.05	2.12	2.91	2.54
C/P	0.57	0.86	0.71	0.67
R/P	4.43	5.29	6.43	6.17
(R+C)/P	5.00	6.14	7.14	6.83

C, Chlorophyta; P, Phaeophyta; R, Rhodophyta.

지역들 보다는 높은 것으로 나타났다.

해조류의 지리적 분포와 풍도에 영향을 미치는 가장 중요한 요인 중 하나는 수온으로 알려져 있으며(Babitha and Subramanian, 2016), 지난 130년 동안 세계적으로 연평균 수온은 약 0.6°C 증가하였고, 한반도 남해와 동해(남부, 중부)를 따라 1.6°C이상의 수온 상승을 보이는 것으로 나타났다(Kim et al., 2011). 본 연구 지역 동해 남부 4개 정점에서는 이전 연구에 비해 갈조류의 출현비율이 낮고 홍조류가 높게 나타났으며, 지리적 분포 특성 또한 열대성 및 혼합성 해조상을 보였다. 따라서, 동해안의 수온 변화를 포함한 다양한 환경변화에 따른 해조상의 변화가 예견되므로 지속적인 모니터링 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- Arévalo R, Pinedo S and Ballesteros E. 2007. Changes in the composition and structure of Mediterranean rocky-shore communities following a gradient of nutrient enrichment: Descriptive study and test of proposed methods to assess water quality regarding macroalgae. *Mar Pollut Bull* 55, 104-113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.023>.
- Babitha D and Subramanian V. 2016. Natural growth and vertical distribution of marine red alga *Grateloupia filicina* (Rhodophyta/Gigartinales) and its associated fauna. *Int J Curr Microbiol App Sci* 5, 745-755. <http://dx.doi.org/10.20546/ijemas.2016.512.085>.
- Boo SM and Lee IK. 1986. Studies on benthic algal community in the east coast of Korea. I. Floristic composition and periodicity of Sokcho rocky shore. *Korean J Phycol* 1, 107-116.
- Boo SM. 1985. Vertical distribution patterns of the intertidal algal community on a Kangneung rocky shore, east coast of Korea. *Proc Natl Sci Res Inst KANU* 1, 46-53.
- Cheney DP. 1977. A new and improved ratio for comparing seaweed floras. *Suppl J Phycol* 13, 129.
- Choi CG and Rho HS. 2010. Marine algal community of Ulsan, on the eastern coast of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 43, 246-253. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2010.43.3.246>.
- Choi CG, Chowdhury MTH, Choi IY and Hong YK. 2010. Marine algal flora and community structure in Kijang on the southern east coast of Korea. *J Korean Soc Oceanogr* 15, 133-139.
- Choi CG, Kwak SN and Sohn CH. 2006. Community structure of subtidal marine algae at Uljin on the east coast of Korea. *Algae* 21, 463-470. <http://dx.doi.org/10.4490/AL-GAE.2006.21.4.463>.
- Choi CG. 2007. Algal flora and *Ecklonia stolonifera* Okamura (Laminariaceae) population of Youngdo in Busan, Korea. *Algae* 22, 313-318. <http://dx.doi.org/10.4490/AL-GAE.2007.22.4.313>.
- Choi JH and Choi CG. 2014. Marine algal communities around Oryukdo, Busan, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 47, 960-972. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0960>.
- Clarke KR and Gorley RN. 2006. PRIMER V6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E Ltd, Plymouth, U.K.
- Dawes CJ. 1989. Temperature acclimation in cultured *Eucheuma isiforme* from Florida and *E. alvarezii* from the Philippines. *J App Phycol* 1, 59-65.
- Feldmann J. 1937. Recherches sur la vegetation marine de la Mediterranee. La cote des Alberes. *Rev Algol* 10, 1-339.
- Fowler J and Cohen C. 1990. Practical Statistics for Field Biology. John Wiley and Sons, New York, N.Y., U.S.A.
- Gessner F. 1970. Temperature: Plants. In: Kinne O (ed.), Marine ecology. Vol. I. Part 1. Wiley interscience, New York, N.Y., U.S.A.
- Graham LE and Wilcox LW. 2000. Algae: Upper Saddle River. Prentice hall, New Jersey, N.J., U.S.A., 1-640.
- Guiry MD and Guiry GM. 2018. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Retrieved from <http://www.Algaebase.org> searched on Aug 29, 2018.
- Heo JS, Han SJ, Choi HG and Nam KW. 2015. A study on long-term monitoring of seaweed flora and community structure at Hakampo, western coast of Korea. *Korean Fish Aquat Sci* 48, 969-976. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0969>.
- Janiak DS and Whitlatch RB. 2012. Epifaunal and algal assemblages associated with the native *Chondrus crispus* (Stackhouse) and the non-native *Grateloupia turuturu* (Yamada) in eastern Long Islands Sound. *J Exp Mar Biol Ecol* 413, 38-44. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.11.016>.
- Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull Pusan Fish Coll* 7, 1-125.
- Kang JW. 1968. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea, Vol. 8, Marine Algae. Samhwa Press, Seoul, Korea.
- Kang PJ, Kim YS and Nam KW. 2008. Flora and community structure of benthic marine algae in Ilkwang Bay, Korea. *Algae* 23, 317-326. <http://dx.doi.org/10.4490/AL-GAE.2008.23.4.317>.
- Kim JY, Kim JN and Choi JH. 2012. Seasonal variation of species composition in marine organisms at Oryukdo in the southeastern waters off Korea. *J Fish Mar Sci Edu* 24, 781-792. <http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2012.24.6.781>.
- Kim SJ, Woo SH, Kim BM and Hur SD. 2011. Trends in sea surface temperature (SST) change near the Korean peninsula for the past 130 years. *Ocean Polar Res* 33, 281-290. <http://dx.doi.org/10.4217/OPR.2011.33.3.281>.
- Kim YH, Eum HM and Kang YS. 1998. Qualitative and quantitative analysis of warm tolerant benthic marine algae in Korea. I. Kori nuclear power plant. *Algae* 13, 213-226.
- Kim YH, Nam KW and Sohn CH. 1997. Intertidal benthic marine algae at Chumunjin on the East coast of Korea: flora, distribution and community structure. *Algae* 12, 117-130.
- Kim YH, Yoon HJ and Yoo JS. 1995. Species composition and biomass of marine algal community on the mid-western

- coast of Korea. *J Plant Biol* 38, 389-398.
- Kim YT and Lee HJ. 2010. Positive correlation water temperature increase with thermal front retrogression in the southern sea of Korea. *J Korean Earth Sci Soc* 38, 122-123.
- Kim HS, Boo SM, Lee IK and Sohn CH. 2013. National list of species of Korea [Marine Algae]. National Institute of Biological Resources, Incheon, Korea.
- Lee KW and Kang JW. 1971. A preliminary survey of the algal flora and communities of Dongbaeksum, Pusan. *Publ Mar Lab Pusan Fish Coll* 4, 29-37.
- Lee KW. 1972. Annual variation of marine algae flora at Dongbaeksum. *Bull Fish Jeju Univ* 1, 8-16.
- Lee KW. 1974. Observation of algal community near Dongbaeksum, Haeundae. *Bull Fish Jeju Univ* 5, 319-331.
- Lee IK and Kang JW. 1986. A check list of marine algae in Korea. *Korean J Phycol* 1, 311-325.
- Lee IK and Kim YH. 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, 91-110.
- Lee IK, Lee HB and Boo SM. 1983. A summer marine algal flora of islands in Jindo-gun. *Rep Sur Natur Environ Korea* 3, 293-311.
- Lindstrom SC. 2009. The biogeography of seaweeds in south east Alaska. *J Biogeogr* 36, 401-409. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01855.x>.
- Littler MM and Littler DS. 1984. Relationships between macroalgal functional form groups and substrate stability in a subtropical rocky intertidal system. *J Exp Mar Biol Ecol* 74, 13-34. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981\(84\)900352](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981(84)900352).
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics* 3, 36-71.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature* 216, 168-169. <http://dx.doi.org/10.1038/216168b0>.
- Murray SN and Littler MM. 1981. Biogeographical analysis of intertidal macrophyte floras of southern California. *J Biogeogr* 8, 339-351. <http://dx.doi.org/10.2307/2844755>.
- Nam KW and Kim YS. 1999. Benthic marine algal flora and community structure of Yongho-dong area in Pusan, Korea. *J Korean Fish Soc* 32, 374-384.
- Oh JC, Choi HG, Kim CD and Ahn JK. 2016. Ecological evaluation of marine national parks based on seaweed community index. *Korean J Fish Aquat Sci* 49, 385-392. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0385>.
- Oh JC, Kim HY, Cho HG, Kim CD and Ahn JK. 2015. Variations of macroalgal flora and community structure in areas of Dadohae Hallyeohaesang national park, the southern coast of Korea. *J Nat Park Res* 6, 132-137.
- Orfanidis S, Panayotidis P and Stamatis N. 2003. An insight to the ecological evaluation index (EEI). *Ecol Indic* 3, 27-33. [http://dx.doi.org/10.1016/S1470-160X\(03\)00008-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-160X(03)00008-6).
- Pinedo S, Garcia M, Satta MP, Torres M and Ballesteros E. 2007. Rocky shore communities as indicators of water quality; a case study in the north-western Mediterranean. *Mar Pollut Bull* 55, 126-135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.044>.
- Satheesh S and Wesley SG. 2012. Diversity and distribution of seaweeds in the Kudankulam coastal waters, south-eastern coast of India. *Biodivers J* 3, 79-84.
- Scherner F, Horta PA, de Oliveira EC, Simonassi JC, Hall-Spencer JM, Chow F, Nunes JMC and Pereira SMB. 2013. Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic. *Mar Pollut Bull* 76, 106-115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.09.019>.
- Segawa S. 1956. Colored Illustrations of the Seaweeds of Japan. Osaka Pub. Co., LTD., Osaka, Japan.
- Shin BK, Kwon CJ, Lee SM and Choi CG. 2014. Marine algal flora and community structure of Igidea area in Busan, Korea. *J Kor Soc Mar Envir Saf* 20, 121-129. <http://dx.doi.org/10.7837/kosomes.2014.20.2.121>.
- Shin JD, Ahn JK and Kim YH. 2011. Structure of the subtidal marine plant community on the east coast of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 44, 85-94. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2011.44.1.085>.
- Sohn CH, Choi CG and Kim HG. 2007. Algal communities and useful seaweed distribution at Gangnung and its vicinity in east coast of Korea. *Algae* 22, 45-52. <http://dx.doi.org/10.4490/ALGAE.2007.22.1.045>.
- Song JN, Park SK, Heo JS, Kim BY, Yoo HI and Choi HG. 2011. Summer seaweed flora and community structure of uninhabited islands in Goheung, Korea. *Korean Fish Aquat Sci* 44, 524-532. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2011.0524>.
- Van den Hoek C. 1982a. Phytogeographic distribution groups of benthic marine algae in the North Atlantic Ocean. A review of experimental evidence from life history studies. *Helgol Meeres* 35, 153-214. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01997551>.
- Van den Hoek C. 1982b. The distribution of benthic marine algae in relation to the temperature regulation of their life histories. *Biol J Linn Soc* 18, 81-144. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1982.tb02035.x>.
- Wells E, Wilkinson M, Wood P and 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.031>.
- Yoo JS, Kim JM and Choi CG. 2013. Changes in marine algal communities around Gijang Busan, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 46, 303-309. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0303>.
- Yoo JS. 2003a. Biodiversity and community structure of marine

benthic organisms in the rocky shore of Dongbaekseom, Busan. *Algae* 18, 225-232. <http://dx.doi.org/10.4490/AL-GAE.2003.18.3.225>.

Yoo JS. 2003b. Dynamics of marine benthic community in intertidal zone of Seoam, Busan. *J Korean Soc Oceanogr* 8, 420-425.