

동해안 춘·하계 조하대 해조군집의 생태학적 평가

한수진 · 김영윤 · 김현정 · 황철희*

해양생태기술연구소

Ecological Evaluation of the Spring and Summer Subtidal Marine Algal Communities Along the East Coast of Korea

Su Jin Han, Young-Ryun Kim, Hyun-Jung Kim and Choul-Hee Hwang*

Marine Eco-Technology Institute Co., Ltd., Busan 48520, Korea

This study examined the characteristics and seasonal distribution patterns of subtidal marine algal communities along the east coast of Korea, from 2016 to 2017, and recorded the coverage ratio (%) by the algal type. During the study period, 134 marine algae species (16 green, 29 brown, and 89 red) were identified at the survey sites. The maximum number of species was observed at the Nagok site (70 species), and the minimum at the Gisamoon site (50 species). The total average biomass (dry weight) during the survey period was 66.22 g/m², including green algae (2.19 g/m²), brown algae (38.10 g/m²), and red algae (25.94 g/m²). The dominant seaweeds in the vertical distribution based on coverage rates (%) were *Sargassum yezoense* and *Dictyopteris divaricata* at the upper, *Symphycladia latiuscula* and *Undaria pinnatifida* at the middle, and *Agarum clathratum* subsp. *yakishiriense* and *Plocamium telfairiae* at the lower sections of the distribution. Richness, evenness, and diversity index, calculated based on the biomass of the abundant species, were estimated to be 6.36, 0.55, and 1.98, respectively, over the entire sea area. Based on the evaluation of the environmental states using community indices, the ecological evaluation index (EEI-c) of subtidal marine algal communities along the east coast of Korea was marked as ‘good-moderate’.

Keywords: Seaweed, Community structure, Ecological state groups, EEI-c, Ecological index

서론

해조류는 연안생태계에서 중요한 생태적 서비스를 제공하는 일차생산자일 뿐만 아니라(Whitaker et al., 2010; Satheesh and Wesley, 2012; Liang et al., 2014), 생물학적 혹은 비생물학적 환경변화를 대변할 수 있는 지표생물(indicator organism) 또는 생물지시자(bio-indicator)로도 이용된다(Wells et al., 2007; Scherner et al., 2013). 따라서, 해조류의 종 다양성, 분포범위, 서식량과 같은 생태정보는 연안생태계 현황과 환경상태를 파악하는데 있어 용이하게 활용될 수 있다(Choi and Rho, 2010; Díaz-Pulido et al., 2011; Roleda et al., 2012; Akrong et al., 2021). 해조류를 이용한 연안의 환경상태에 대한 평가는 해조류의 기능형 그룹에 기초하여 시도되었다. 해조류는 생존전략과 형태에 따라 6개의 기능형 그룹(엽상형, 사상형, 성긴분기형,

다육질형, 유절산호말형, 각상형)으로 구분되며, 이들의 구성비율에 따라 조사 해역이 환경적인 스트레스가 낮은 곳인지 혹은 인위적인 교란이나 오염이 많은 곳인지 등을 평가할 수 있었다(Littler and Littler, 1984; Padilla and Allen, 2000). 최근에는 출현 해조류의 체형, 성장률, 표현형의 적응성, 수명 및 천이 속도를 고려하여 5개의 기능형으로 구분한 후 생태학적평가지수(ecological evaluation index continuous formula, EEI-c)를 산출하여 생태학적평가등급(ecological status class, ESC)에 따라 연안 해역의 환경상태를 등급화하고 있다(Orfanidis et al., 2001, 2003, 2011; Caldeira and Reis, 2019; Jung et al., 2020).

동해안을 대상으로 하는 해조류 연구는 Kim and Lee (1980)의 고리원자력발전소 주변 해조류 생태 연구를 시작으로 피도와 빈도 측정을 통한 우점종과 수직분포 분석, 계절별 생물량 변동 등에 대한 정성 및 정량 평가가 다수 이루어졌으나 일부 조하

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 611. 0970 Fax: +82. 51. 611. 0588

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



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.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.1007>

Korean J Fish Aquat Sci 54(6), 1007-1016, December 2021

Received 20 October 2021; Revised 19 November 2021; Accepted 30 November 2021

저자 직위: 한수진(책임연구원), 김현정(책임연구원), 김영윤(본부장), 황철희(본부장)

대 연구를 제외하고는 대부분이 접근이 용이한 조간대를 대상으로 수행되었으며, 조하대 해조류 군집에 대한 연구는 특정 해역 내 시기별 해조상 특성만을 분석하는 것에 그치고 있어, 거시적 연안 환경상태 평가 연구 사례는 매우 빈약한 실정이다(Boo and Lee, 1986; Chung et al., 1991; Kim et al., 1997; Kim et al., 2004; Shin et al., 2008; Choi et al., 2009; Choi and Rho, 2010; Shin et al., 2011; Kim et al., 2014; Lee et al., 2015; Park et al., 2017; Han et al., 2018). 따라서, 본 연구는 동해안 조하대에서 식하는 해조류 군집 특성을 파악하고, 조사 해역내 출현한 해조류의 기능형 그룹에 기초한 생태학적평가지수(EEI-c)를 산출하여 동해안 조하대의 환경상태를 파악하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

해조류 채집 및 분석

본 연구를 수행하기 위한 해조류 채집은 동해 연안의 6개 정점(고성 초도, 양양 기사문, 삼척 후진, 울진 나곡, 울진 거일, 경주 오류)을 대상으로 실시되었으며, 2016-2017년 5월과 8월에 SCUBA Diving을 이용하여 정량 및 정성 채집하였다(Fig. 1).

정량조사는 각 조사 정점의 해역 특성에 따라 조하대 해조류 식생을 대표할 수 있는 수심을 선정하여 4개 정점(기사문, 후진, 나곡, 거일)은 수심 5, 10, 20 m, 2개 정점(초도, 오류)은 수심 5, 10, 15 m에서 수심별 2개의 방형구(50 cm × 50 cm)를 설치하고, 피도 측정을 위해 영상촬영 후 방형구 내에 존재하는 모든 해조류를 끝갈 등으로 전량 채집하였으며, 해조상을 파악하기 위하여 다양한 기질과 조위에 서식하는 해조류를 정성 채집하였다. 채집된 해조류는 포르말린-해수 용액(5-10%)으로 현장에서 고정시켜 실험실로 운반한 후 검정 동정하였으며, 정량 채집된 해조류는 담수로 세척하여 종별로 구분한 후 105°C로 설정된 건조기에서 2일간 건조하여 건조량을 측정하였고, 단위면적당 생물량(g dry wt./m²)으로 환산하였다. 학명과 국명에 기초한 출현종 목록은 국가 생물종 목록집과 AlgaeBase (www.algaebase.org)의 분류체계를 따랐다(Kim et al., 2013a; Guiry and Guiry, 2021). 또한, 해조류 종별 단위면적당 생물량 구성비(%)에 기초하여 생물량 구성비가 30% 이상의 종을 우점종, 10% 이상 30% 미만의 종을 준우점종으로 구분하였으며(Kim et al., 1995, 1997), 정점별 해조류 출현 현황(종조성 및 생물량)에 근거하여 풍부도지수(richness index, R), Shannon's 다양도지수(diversity index, H'), 균등도지수(evenness index, J')를 계산하였고(Margalef, 1958; McNaughton, 1967; Fowler and Cohen, 1990), 군집지수의 산출 및 도식화에는 PRIMER version 6 (Clarke and Gorley, 2006)를 이용하였다.

연안 환경 상태 평가

본 연구에서는 해조류 출현종을 외형, 성장속도, 표현형의 적응성, 수명 및 천이속도를 고려하여 5개의 그룹[ESG I (sub-

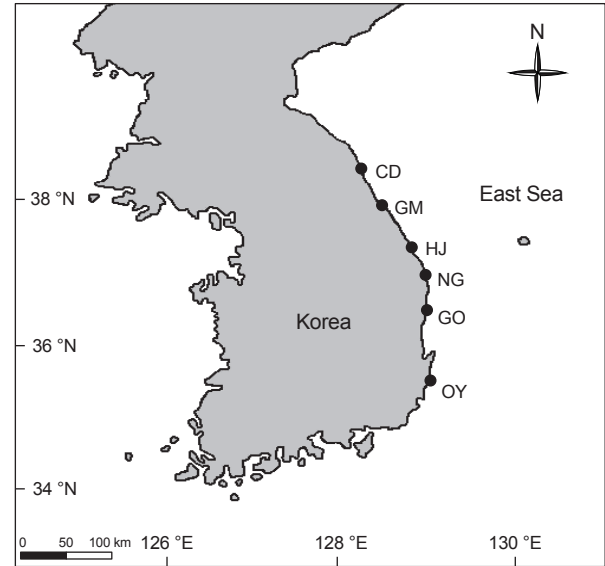


Fig. 1. Maps showing the six study sites located on the East Coast of Korea. CD, Chodo; GM, Gisamoon; NG, Nagok; HJ, Hujin; GO, Geoil; OY, Oryu.

groups, IA, IB, IC) and ESG II (subgroups, IIA, IIB)]으로 구분하였으며, 생태학적평가지수(EEI-c)를 산출한 후 생태학적 평가등급(ESC)에 따라 해조류 군집 상태를 평가하였다(Orfanidis et al., 2011) (Table 1). 각 그룹의 특성과 생태학적평가 지수 산출 공식은 다음과 같다.

ESG I, Thick perennial (IA), thick plastic (IB), shade adapted plastic (IC)

ESG II, Fleishy opportunistic (IIA), filamentous sheet-like opportunistic (IIB)

$$\text{ESG I (\% coverage)} = [(IA * 1) + (IB * 0.8) + (IC * 0.6)] = x$$

$$\text{ESG II (\% coverage)} = [(IIA * 0.8) + (IIB * 1)] = y$$

$$\text{EEI-c (x, y)} = a + b(x/100) + c(x/100)^2 + d(y/100) + e(y/100)^2 + f(x/100)(y/100)$$

$$a = 0.4680; b = 1.2088; c = -0.3583; d = -1.1289; e = 0.5129;$$

$$f = -0.1869$$

결 과

종조성

본 연구기간 동안 동해 6개 정점에서 출현한 해조류는 총 134종(녹조류 16종, 갈조류 29종, 홍조류 89종)이었으며, 연도별로

는 2016년에 101종, 2017년에 92종이 출현하였고, 계절별로는 춘계에 110종, 하계에 90종이 출현하였다. 정점별 출현종수는 기사문에서 50종으로 가장 적었고, 나곡에서 70종으로 가장 많았다(Table 2). 조사기간 동안 모든 해역에서 출현한 해조류는 솔대마디말(*Lychaete sakaii*), 떡칭각(*Codium arabicum*), 불레기말(*Colpomenia sinuosa*), 참가시그물바탕말(*Dictyopteris pacifica*), 개그물바탕말(*Rugulopteryx okamurae*), 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 미역(*Undaria pinnatifida*), 잔금분홍

잎(*Acrosorium polyneurum*), 애기돌가사리(*Chondracanthus intermedius*), 참산호말(*Corallina officinalis*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 마디잘록이(*Fushitsunagia catenata*), 털엇가지풀(*Heterosiphonia pulchra*), 참곱슬이(*Plocamium telfairiae*), 큰수염붉은실(*Polysiphonia morrowii*), 갈래잎(*Schizymenia dubyi*), 넓은보라색우무(*Symphyclocladia marchantioides*)로 총 17종(녹조류 2종, 갈조류 5종, 홍조류 10종)이었다. 전체 출현한 해조류의 분류군별 구성비율은 홍조류가 66.42%를 차지하여 다른 분류군에 비해서 높게 나타났다. 정점별로는 오류에서 홍조류 평균 출현비율 69.09%로 다른 정점에 비해 가장 높았으며, 초도에서는 홍조류 평균 출현비율이 57.89%로 가장 낮은 반면, 갈조류의 출현비율이 35.09%로 가장 높게 나타났다.

생물량 및 우점종

동해안 6개 정점에서 출현한 해조류의 평균 생물량은 66.22 g dry wt./m²이며, 정점별로는 기사문에서 29.68 g dry wt./m²

Table 1. Ecological status class (ESC) boundaries coastal waters based on the ecological evaluation index continuous formula (EEI-c)

ESC	EEI-c
High	9.72±0.46 SD
Good-High	8.09±0.74 SD
Good-Moderate	5.84±0.70 SD
Moderate-Low	4.04±0.68 SD
Bad	2.34±0.78 SD

Table 2. The number of macroalgal species observed at the six study sites of East Coast from 2016-2017

Site	Taxon	2016		2017		Total
		Spring	Summer	Spring	Summer	
Chodo	Chlorophyta	1	2	4	1	4
	Ochrophyta	11	13	11	7	20
	Rhodophyta	9	10	18	18	33
	subtotal	21	25	33	26	57
Gisamoon	Chlorophyta	1	2	3	2	5
	Ochrophyta	8	2	9	3	12
	Rhodophyta	6	4	20	18	33
	subtotal	15	8	32	23	50
Nagok	Chlorophyta	2	2	5	3	6
	Ochrophyta	8	5	12	4	17
	Rhodophyta	20	18	24	19	47
	subtotal	30	25	41	26	70
Hujin	Chlorophyta	4	2	4	1	6
	Ochrophyta	8	7	10	4	16
	Rhodophyta	16	8	16	14	29
	subtotal	28	17	30	19	51
Geoil	Chlorophyta	2	3	4	6	7
	Ochrophyta	11	3	6	4	18
	Rhodophyta	13	18	15	24	42
	subtotal	26	24	25	34	67
Oryu	Chlorophyta	3	4	2	3	7
	Ochrophyta	3	4	6	1	10
	Rhodophyta	9	13	17	15	38
	subtotal	12	21	25	19	55

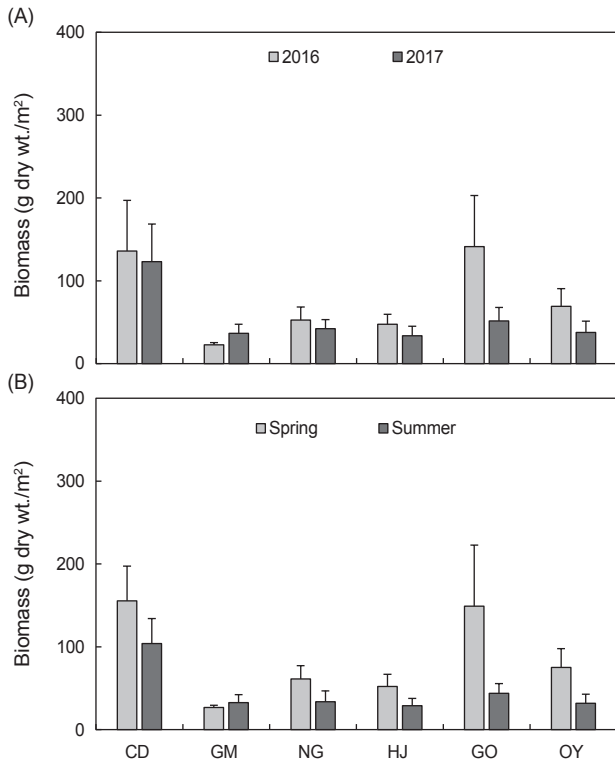


Fig. 2. Annual (A), and seasonal (B) variations in average seaweed biomass (g dry wt./m²) at six study sites in East Coast of Korea. Bar show standard errors (n=2 replicates). CD, Chodo; GM, Gisamoon; NG, Nagok; HJ, Hujin; GO, Geoil; OY, Oryu.

로 최소였고, 초도에서 129.65 g dry wt./m²로 최대였다. 연도별 평균 생물량은 2016년에 78.29 g dry wt./m², 2017년에 55.71 g dry wt./m²였으며, 계절별로는 춘계에 86.67 g dry wt./m², 하계에 45.77 g dry wt./m²였다. 연구기간 중 해조류 생물량이 가장 많았던 정점은 2016년 춘계에 거일(221.76 g dry wt./m²)이었고, 가장 적었던 정점은 2017년 춘계에 기사문(22.52 g dry wt./m²)이었다(Fig. 2). 해조류 분류군별 생물량 비율은 갈조류가 평균 57.53%로 가장 높았으며, 홍조류 39.17% 그리고 녹조류 3.31% 순이었다. 녹조류의 생물량 구성비가 가장 높은 정점은 기사문으로 평균 10.89%였으며, 갈조류 구성비율은 거일(78.07%)에서 가장 높았고, 홍조류 구성비율은 나곡(62.24%)에서 가장 높았다.

생물량 결과를 바탕으로 판정한 우점종을 보면, 초도에서는 2016년도에 큰열매모자반(*Sargassum macrocarpum*, 평균 생물량 구성비율 18.81%), 쌍발이모자반(*Sargassum patens*, 18.57%), 미역(14.46%), 참보라색우무(*Symphyclocladia latiuscula*, 11.71%)가 준우점한 반면, 2017년도에는 참보라색우무(40.41%)가 우점하는 가운데 참산호말(18.05%)과 덩불모자반(*Sargassum yezoense*, 13.76%)이 준우점종으로 나타났다(Table 3). 기사문에서 출현한 해조류 중 우점종은 2017년에 평균 생물량의 30.01%를 차지한 덩불모자반이었으며, 준우점종으로는 참산호말, 구멍갈파래(*Ulva australis*), 개그물바탕말 등으로 나타났다. 나곡에서는 우뚝가사리(*Gelidium elegans*)가 2016년(31.56%)에는 우점종, 2017년(23.08%)에는 준우점종이었고, 이외에 썩생이모자반, 붉은까막살(*Grateloupia cornea*), 마디잘록이 등이 준우점종으로 나타났다. 후진에서

Table 3. Dominant (≥ 30%) and subdominant (10-30%) species in terms of average biomass percentage (%) at the six study sites of East Coast, Korea

Site	2016	2017
Chodo	<i>Sargassum macrocarpum</i> (18.81) <i>Sargassum patens</i> (18.57) <i>Undaria pinnatifida</i> (14.46) <i>Symphyclocladia latiuscula</i> (11.71)	<i>Symphyclocladia latiuscula</i> (40.41) <i>Corallina officinalis</i> (18.05) <i>Sargassum yezoense</i> (13.76)
Gisamoon	<i>Corallina officinalis</i> (26.99) <i>Ulva australis</i> (24.52) <i>Sargassum horneri</i> (14.32) <i>Desmarestia viridis</i> (10.20)	<i>Sargassum yezoense</i> (30.01) <i>Rugulopteryx okamurae</i> (23.25) <i>Corallina officinalis</i> (12.80)
Nagok	<i>Gelidium elegans</i> (31.56) <i>Sargassum horneri</i> (12.34) <i>Grateloupia cornea</i> (11.52)	<i>Gelidium elegans</i> (23.08) <i>Fushitsunagia catenate</i> (11.77) <i>Codium arabicum</i> (11.71)
Hujin	<i>Undaria pinnatifida</i> (23.93) <i>Acrosorium polyneurum</i> (21.59) <i>Sargassum nigrifolium</i> (15.30)	<i>Sargassum yezoense</i> (52.25) <i>Colpomenia sinuosa</i> (14.06) <i>Acrosorium polyneurum</i> (12.62)
Geoil	<i>Undaria pinnatifida</i> (40.84) <i>Dictyota coriacea</i> (14.47)	<i>Dictyopterus divaricata</i> (62.79) <i>Plocamium telfairiae</i> (16.16)
Oryu	<i>Sargassum fulvellum</i> (56.33) <i>Peyssonnelia caulifera</i> (12.05) <i>Synarthrophyton chejuensis</i> (10.42)	<i>Peyssonnelia caulifera</i> (53.80) <i>Dictyota coriacea</i> (15.99)

는 2016년에 미역(23.93%) 외 2종이 준우점종으로 나타났으며, 2017년에는 덩불모자반(52.25%)이 우점한 가운데 불레기말과 잔금분홍잎이 준우점종으로 나타났다. 거일에서 해조류의 우점종은 2016년에는 미역(40.84%), 2017년에는 미끈뽀대그물말(62.79%)이었고, 참가죽그물바탕말(*Dictyota coriacea*, 14.47%)과 참곱슬이(16.16%)가 각각 준우점종으로 판정되었다. 오류에서는 2016년에 모자반(*Sargassum fulvellum*, 56.33%)이 우점한 가운데 자루바다표고(*Peyssonnelia caulifera*)와 낭과떡(*Synarthrophyton chejuensis*)이 준우점하였고, 2017년에는 자루바다표고가 평균 생물량의 53.80%를 차

지하여 우점하였으며, 참가죽그물바탕말(15.99%)이 준우점종으로 나타났다.

수직분포

평균 피도를 바탕으로 나타난 각 정점별 해조류 수직분포는 다음과 같다(Table 4). 초도의 경우 2016년에는 조하대 수심별로 쇠미역(*Costaria costata*), 큰열매모자반, 쌍발이모자반, 구멍쇠미역(*Agarum clathratum* subsp. *yakishiriense*) 등이 우점한 반면, 2017년에는 상부에서 덩불모자반, 중-하부에서 참보라색우무, 넓은보라색우무 등이 주로 분포하는 것으로 나타

Table 4. Vertical algal by mean coverage of six study sites of East Coast, Korea

Site		2016	2017
CD	Up	<i>Costaria costata</i> , <i>Sargassum macrocarpum</i> , <i>Sargassum patens</i>	<i>Sargassum yezoense</i> , <i>Dasysiphonia japonica</i> , <i>Corallina officinalis</i>
	Mi	<i>Symphyclocladia latiuscula</i> , <i>Dictyopteris divaricata</i> , <i>Sargassum macrocarpum</i>	<i>Symphyclocladia latiuscula</i> , <i>Rugulopteryx okamurae</i> , <i>Symphyclocladia marchantioides</i>
	Lo	<i>Agarum clathratum</i> , <i>Undaria pinnatifida</i> , <i>Symphyclocladia latiuscula</i>	<i>Symphyclocladia latiuscula</i> , <i>Acrosorium polyneurum</i> , <i>Symphyclocladia marchantioides</i>
GM	Up	<i>Ulva australis</i> , <i>Sargassum horneri</i> , <i>Desmarestia viridis</i>	<i>Sargassum yezoense</i> , <i>Rugulopteryx okamurae</i> , <i>Sargassum horneri</i>
	Mi	<i>Heterosiphonia japonica</i> , <i>Corallina officinalis</i> , <i>Colpomenia sinuosa</i>	<i>Symphyclocladia linearis</i> , <i>Ulva australis</i> , <i>Corallina officinalis</i>
	Lo	<i>Agarum clathratum</i> , <i>Polyneura japonica</i> , <i>Corallina officinalis</i>	<i>Pseudopolyneura japonica</i> , <i>Agarum clathratum</i> , <i>Gracilaria parvispora</i>
NG	Up	<i>Sargassum horneri</i> , <i>Undaria pinnatifida</i> , <i>Acrosorium polyneurum</i>	<i>Fushitsunagia catenate</i> , <i>Grateloupia elliptica</i> , <i>Undaria pinnatifida</i>
	Mi	<i>Gelidium elegans</i> , <i>Sargassum horneri</i> , <i>Undaria pinnatifida</i>	<i>Gelidium elegans</i> , <i>Sargassum horneri</i> , <i>Chondrus ocellatus</i>
	Lo	<i>Agarum clathratum</i> , <i>Grateloupia cornea</i> , <i>Gelidium elegans</i>	<i>Agarum clathratum</i> , <i>Pseudopolyneura japonica</i> , <i>Corallina officinalis</i>
HJ	Up	<i>Acrosorium polyneurum</i> , <i>Sargassum nigrifolium</i> , <i>Fushitsunagia catenata</i>	<i>Sargassum yezoense</i> , <i>Acrosorium polyneurum</i> , <i>Dictyopteris pacifica</i>
	Mi	<i>Undaria pinnatifida</i> , <i>Desmarestia viridis</i> , <i>Symphyclocladia latiuscula</i>	<i>Colpomenia sinuosa</i> , <i>Symphyclocladia latiuscula</i> , <i>Laurencia pinnata</i>
	Lo	<i>Polyneura japonica</i> , <i>Agarum clathratum</i> , <i>Undaria pinnatifida</i>	<i>Pseudopolyneura japonica</i> , <i>Sparlingia pertusa</i> , <i>Corallina officinalis</i>
GO	Up	<i>Undaria pinnatifida</i> , <i>Dictyota coriacea</i> , <i>Codium fragile</i>	<i>Dictyopteris divaricata</i> , <i>Grateloupia asiatica</i> , <i>Laurencia intricate</i>
	Mi	<i>Sphaerotrichia divaricata</i> , <i>Ulva australis</i> , <i>Sargassum micracanthum</i>	<i>Chrysmenia wrightii</i> , <i>Acrosorium flabellatum</i> , <i>Schizymenia dubyi</i>
	Lo	<i>Plocamium telfairiae</i> , <i>Agarum clathratum</i> , <i>Sphaerotrichia divaricata</i>	<i>Plocamium telfairiae</i> , <i>Acrosorium flabellatum</i> , <i>Symphyclocladia marchantioides</i>
OY	Up	<i>Sargassum fulvellum</i> , <i>Corallina pilulifera</i> , <i>Dictyota coriacea</i>	<i>Colpomenia sinuosa</i> , <i>Dictyota coriacea</i> , <i>Gelidium elegans</i>
	Mi	<i>Peyssonnelia caulifera</i> , <i>Sargassum fulvellum</i> , <i>Synarthrophyton chejuensis</i>	<i>Peyssonnelia caulifera</i> , <i>Colpomenia sinuosa</i> , <i>Corallina officinalis</i>
	Lo	<i>Peyssonnelia caulifera</i> , <i>Lithothamnion corallioides</i>	<i>Peyssonnelia caulifera</i> , <i>Cladophora meridionalis</i> , <i>Callophyllis crispata</i>

CD, Chodo; GM, Gisamoon; NG, Nagok; HJ, Hujin; GO, Geoil; OY, Oryu; Up, Upper; Mi, Middle; Lo, Lower.

났다. 기사문에서는 2016년 상부에서 구멍갈파래, 팽생이모자반, 쇠꼬리산말(*Desmarestia viridis*), 중부에서 엇가지분홍풀(*Dasyisiphonia japonica*), 참산호말, 불레기말, 하부에서 구멍쇠미역, 왜다맥잎사촌(*Pseudopolyneura japonica*), 참산호말 순으로 분포하였으며, 2017년에는 상부에서 덩불모자반, 개그물바탕말, 팽생이모자반, 중부에서 가는보라색우무(*Symphycladia linearis*), 구멍갈파래, 참산호말 그리고 하부에서 왜다맥잎사촌, 구멍쇠미역, 각시꼬시래기(*Gracilaria parvispora*) 순으로 나타났다. 나곡에서는 2016년 조하대 상-중부에서 팽생이모자반과 미역, 하부에서 구멍쇠미역, 붉은까막살, 우뚝가사리가 우점하였으며, 2017년에는 상부에서 마디잘록이, 참개도박(*Grateloupia elliptica*), 미역, 중부에서 우뚝가사리, 팽생이모자반, 진두발(*Chondrus ocellatus*), 하부에서 구멍쇠미역, 왜다맥잎사촌, 참산호말 순으로 분포하였다. 후진에서는 2016년 상부에서 잔금분홍잎, 검등모자반(*Sargassum nigrifolium*), 중부에서 미역, 참보라색우무, 하부에서 바다참나무잎아재비, 구멍쇠미역 순으로 분포하였으며, 2017년에는 상부에서 덩불모자반, 잔금분홍잎, 중부에서 불레기말, 하부에서 왜다맥잎사촌이 우점하는 것으로 나타났다. 거일에서는 2016년 상부에서 미역, 참가죽그물바탕말, 중부에서는 잔가지말(*Sphaerotrichia firma*), 잔가시모자반(*Sargassum micracanthum*) 그리고 하부에서 참곱슬이, 잔가지말, 구멍쇠미역이 우점하였으며, 2017년에는 상부에서 미끈뼈대그물말, 지네지누아리(*Grateloupia asiatica*), 중부에서 누른끈적이(*Botryocladia wrightii*), 부채분홍잎(*Acrosorium flabellatum*), 하부에서 참곱슬이가 주로 분포하였다. 오류에서는 2016년 상부에서 모자반, 작은구슬산호

말, 참가죽그물바탕말, 중-하부에서 자루바다표고가 주로 우점하였으며, 2017년에는 상부에서 불레기말, 참가죽그물바탕말, 중-하부에서는 2016년과 같이 자루바다표고가 우점하였다.

연안환경 상태 평가

동해 6개 정점에서 출현한 해조류의 종별 평균 피도를 이용하여 생태학적평가지수(EEI-c)를 도출한 후, 생태학적평가등급(ecological status class, ESC)을 기반으로 연안 환경 상태를 평가한 결과, 2016년과 2017년 평균 값은 각각 6.16과 5.38로 'G (good)-M (moderate)'으로 판정되었다(Table 5). 연도별 세부 결과를 살펴보면, 2016년에는 초도(7.85)에서 'G-H (high)'를 제외한 모든 정점에서 'G-M'으로 나타났으며, 계절별로는 춘계 초도(8.76)에서 'G-H', 하계 나곡(4.60)에서 'M-L (low)'으로 나타난 것을 제외한 모든 정점에서 'G-M'으로 나타났다. 2017년에는 모든 정점에서 'G-M'으로 판정되었으며, 계절별로는 춘계에 초도(3.92), 나곡(4.89)과 거일(4.80)에서 'M-L'으로 나타난 것을 제외하고, 나머지 모든 정점에서 'G-M'으로 나타났다.

전반적으로 2016년에 비해 2017년에 생태학적평가지수 값이 낮게 나타났으며, 이는 ESG I 그룹의 피도가 감소하고, ESG II 그룹의 피도가 증가함에 따라 해조류 군집 상태가 변화했기 때문인 것으로 판단된다.

군집지수

해조류 출현종수와 생물량을 바탕으로 분석된 군집지수를 살펴보면, 풍부도지수(R)는 2016년 기사문(3.46)에서 가장 낮았고, 2017년 나곡(9.39)에서 가장 높았으며, 균등도지수(J)는

Table 5. ESC (ecological status class) evaluation results of macroalgal assemblage using EEI-c (Ecological Evaluation Index continuous formula) based on coverage (%) of macroalgal species

ESG	Chodo		Gisamoon		Nagok		Hujin		Geoil		Oryu	
	Spring	Summer	Spring	Summer	Spring	Summer	Spring	Summer	Spring	Summer	Spring	Summer
2016												
ESG I	59.37	23.88	24.56	0.60	22.67	2.50	14.20	6.73	3.66	3.35	5.06	3.84
ESG II	18.69	10.74	13.44	3.58	7.39	16.48	19.88	7.06	8.35	4.73	1.03	0.96
EEI-c	8.76	6.93	6.76	5.48	7.12	4.60	5.38	5.76	5.36	5.64	6.13	6.02
ESC	G-H	G-M	G-M	G-M	G-M	M-L	G-M	G-M	G-M	G-M	G-M	G-M
EEI-c per site	7.85		6.12		5.86		5.57		5.50		6.08	
ESC per site	G-H		G-M		G-M		G-M		G-M		G-M	
2017												
ESG I	4.27	16.14	1.53	5.23	6.88	4.33	5.43	2.53	1.63	10.68	3.18	4.31
ESG II	28.08	10.17	8.45	5.71	17.96	3.06	13.69	3.69	12.93	9.75	7.73	3.85
EEI-c	3.92	6.33	5.15	5.73	4.89	5.88	5.09	5.66	4.80	5.89	5.37	5.81
ESC	M-L	G-M	G-M	G-M	M-L	G-M	G-M	G-M	M-L	G-M	G-M	G-M
EEI-c per site	5.13		5.44		5.39		5.37		5.34		5.59	
ESC per site	G-M		G-M		G-M		G-M		G-M		G-M	

ESG, ecological status groups; G-H, Good-High; G-M, Good-Moderate; M-L, Moderate-Low.

2017년 거일(0.35)에서 가장 낮았고, 나곡(0.67)에서 가장 높았다(Table 6).

출현종수와 생물량의 분포인 균등도지수에 의해 결정되는 다양도지수(H')는 2017년 거일(1.35)에서 가장 낮았고, 나곡(2.65)에서 가장 높게 나타났다.

고찰

본 연구인 동해안 6개 정점에서 채집된 해조류는 총 134종(녹조류 16종, 갈조류 29종, 홍조류 89종)이었고 정점별로는 동해 중부 해역인 고성 초도, 양양 기사문, 삼척 후진에서 50-57종, 동해 남부 해역인 울진 나곡, 울진 거일, 경주 오류에서 55-70종으로 남부 해역에서 높게 나타났으며 정점별 다소 차이를 보였다. 동해안 조하대에서 춘계 및 하계에 출현한 해조류는 중부해역에서 12-75종, 남부해역에서 6-45종으로 일부 정점을 제외하고는 본 연구에서 출현 종수가 높게 나타났으며(Table 7), 13회(4계절) 조사로 92종(Kim et al., 2013b), 3회 조사로 75종(Park et

al., 2017)이 출현한 사근진과, 조간대와 조하대를 동시 채집하여 98종(Lee et al., 2015)이 출현한 측산보다는 본 연구의 출현 종수가 낮게 나타났는데, 이는 선행연구와 채집 시기의 계절적 불일치, 조사 정점 및 수심, 채집 횟수 등의 차이 때문인 것으로 판단된다.

본 연구에서 동해안 조하대 6개 정점 내 해조류의 연평균 생물량은 66.22 g dry wt./m²로 양양 기사문에서 최소(29.68 g dry wt./m²)였고 고성 초도에서 최대(129.65 g dry wt./m²)였다. 선행 연구에서 습중량으로 측정된 해조류 생물량은 건중량으로 측정된 본 연구 결과와 직접적인 비교는 어렵지만, 건중량(습중량의 1/5)으로 환산하면(Taniguchi, 1998), 동해 중부 해역에서 평균 생물량이 64-487 g dry wt./m², 남부해역에서는 29-630 g dry wt./m²로 추정할 수 있다(Table 7). 금번에 조사된 동해안 조하대 연안의 해조류 생물량은 이전 연구 결과와 다소 차이를 보이는데, 이는 이전 연구에서는 갈조류가 대부분의 생물량을 차지하고 있는 반면, 본 연구에서는 갈조류가 전체 생물

Table 6. Average biomass (g dry wt./m²) and various community indices of seaweeds at the six study sites in East Coast of Korea

Community indices	2016						2017					
	CD	GM	NG	HJ	GO	OY	CD	GM	NG	HJ	GO	OY
Biomass (g/m ²)	136.03	22.79	52.77	47.59	141.26	69.31	123.27	36.57	42.27	33.61	51.61	37.61
Richness index (R)	4.92	3.46	7.47	6.19	5.64	5.14	6.51	7.98	9.39	6.22	7.85	5.54
Evenness index (J')	0.65	0.64	0.62	0.66	0.60	0.43	0.52	0.54	0.67	0.47	0.35	0.46
Diversity index (H')	2.28	1.86	2.35	2.36	2.20	1.50	1.96	2.03	2.65	1.65	1.35	1.58

CD, Chodo; GM, Gisamoon; NG, Nagok; HJ, Hujin; GO, Geoil; OY, Oryu.

Table 7. Average seaweed biomass (g wet wt./m²) and species richness at the subtidal zone on the East Coast of Korea

Site	Season	Depth	Species	Biomass	Reference	
Middle Part	Jeodo	Sp, Su	5, 10, 15	23	Kim et al. (2012a)	
	Chodo	Sp, Su	5, 10, 15	57	This study*	
	Sargeunjin	Wi, Sp, Su, Au	3, 5, 10	92	407	Kim et al. (2013b)**
			10-15	75	777	Park et al. (2017)
	Gisamoon	Sp, Su	5, 10, 20	50	30	This study*
	Daejon	Sp, Su	5, 10, 15	41	2,139	Kim et al. (2010)
	Imwon	Sp, Su	5, 10, 15	12	520	Kim et al. (2012a)
	Bihwa	Sp, Su	5, 10, 15	30	321	Kim et al. (2012b)
	Hujin	Sp, Su	5, 10, 20	51	41	This study*
Southern Part	Chuksan	Wi, Sp, Su, Au	1, 5, 10	98	630	Lee et al. (2015)*
	Geoil	Su	10-15	45	261	Park et al. (2017)
	Nagok	Sp, Su	5, 10, 20	70	48	This study*
	Geoil	Sp, Su	5, 10, 20	67	96	This study*
	Hajung	Sp, Su	5, 10, 15	21	356	Kim et al. (2011)
	Gampo	Sp, Su	5, 10, 15	6	145	Kim et al. (2012a)
	Oryu	Sp, Su	5, 10, 15	55	53	This study*

*, biomass (g dry wt./m²); **, monthly date.

량의 57.53%만을 차지하고 있어 대형 개체의 비율이 높은 갈조류가 차지하는 비율이 상대적으로 낮아 주변 해역에 비해 생물량이 적은 것으로 판단된다. 해양수산부 해양환경정보포털 (<http://meis.go.kr>)에서 수집한 해양환경측정망 자료를 분석했을 때, 본 연구의 조사시기(2016-2017년)에 동해안 평균 수온(13.0°C)은 지난 10년(2005-2015년)간의 평균 수온(12.6°C)에 비해 상대적으로 높게 나타났으며, 수온은 해조 군집 변화에 영향을 주는 중요한 요인 중에 하나로써(Fulton et al., 2014), 본 연구에서의 해조류 생물량 구성 변화는 수온과 같은 환경요인의 변화에 영향을 받고 있을 것으로 사료된다.

동해안 조하대에서 생물량에 따른 우점종과 준우점종은 본 연구결과에서 정점에 따라 차이가 있지만, 모자반류와 미역과 같은 대형 갈조류가 우점 또는 준우점종으로 나타났으며, 이외에도 미끈뽀대그물말, 참보라색우무, 우뭇가사리, 참곱슬이, 산호말류 등이 우점 또는 준우점종으로 출현하였다. 인근 해역 조하대에서 생물량에 따른 해조류 우점종과 준우점종을 살펴보면, 죽변에서는 무절산호조류(Melobesiodean algae)를 제외하고 파베기모자반, 툯, 작은구슬산호말, 잔금분홍잎이 우점 또는 준우점종으로 알려졌으며(Shin et al., 2008), 대진에서는 계절에 따라 차이가 있지만 일반적으로 덩굴모자반과 작은구슬산호말이 우점하였으며, 진두밭과 팽생이모자반이 준우점하였다(Shin et al., 2011). 따라서, 같은 동해안 해역일지라도 조하대 생물량을 구성하는 해조류는 정점에 따라 차이가 있지만 모자반류와 미역등을 포함한 대형 갈조류가 우점 또는 준우점종으로 나타나는 이전 연구 결과와 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다.

Little and Littler (1984)은 급변하는 환경에서 해조군집이 빠른 증가를 보이는 r-전략의 출현종 보다는 일년생 내지 다년생의 K-전략 종들이 증가하는 안정적인 군집으로 천이단계가 진행된다고 제안하였다. Orfanidis et al. (2001, 2003)은 이러한 해조군집의 특성을 이용하여 해조류가 서식하는 환경상태를 평가하고자 생태학적상태지수(EEI)를 제시하였고, EEI 값 6을 기준으로 높으면 안정된 연안 생태계로 판정하였으며, 낮은 경우 생태계 복원이 필요하다고 평가하였다. 그 후 기존의 생태학적상태지수 방법을 보완하여 EEI-c (ecological evaluation index continuous formula)를 제시하였고, 생태학적평가등급(ESC)에 따라 5개의 등급으로 세분화하여 환경상태를 평가하였다(Orfanidis et al., 2011). 이를 활용하여 본 연구해역인 동해안 6개 정점의 EEI-c 값은 2016년에 6.16, 2017년에 5.38로 2017년에 낮게 나타났으며, 생태학적평가등급(ESC)은 동일하게 'good-moderate'로 판정되었다. 정점별로 보면 초도에서 2016년 춘계에 8.76 (Good-High)에서 2017년 하계에 3.92 (Moderate-Low)로 가장 많이 감소하였는데, 이는 ESG I 그룹의 피도가 약 90% 감소하였으며 대표적으로 미역, 큰열매모자반, 쌍발이모자반과 같은 해중립을 구성하는 대형 갈조류의 출현량 감소로 인한 변화로 판단된다. 이러한 ESG I 그룹의 피도

감소는 평균 피도를 바탕으로 나타난 각 정점별 해조류 수직분포의 출현종 변화로도 확인할 수 있는데, 2016년에는 조위별 평균 피도 상위 3종에 미역과 모자반류 등 ESG I 그룹에 속하는 대형 갈조류가 전 정점에서 출현한 반면, 2017년에는 일부 정점의 상-중부에서만 출현한 것을 제외하면 대부분 참보라색우무와 우뭇가사리 등 ESG II 그룹에 속하는 홍조류가 대부분 차지하고 있는 것으로 나타났다(Table 4). 이전 연구인 왕돌초 해조군집 또한 본 연구와 유사하게 대형 갈조류의 피도 변화에 의해 EEI-c 값이 변동하는 것으로 나타났는데, Jung et al. (2020)은 왕돌초 해조군집 상태가 해중립을 구성하는 종인 모자반과 미역의 계절별 피도 변화에 따라 'Bad' 또는 'Good-Moderate'사에서 변동하는 것을 확인하였고, 왕돌초 지역의 해조군집을 복원이 필요한 상태로 판단하였다.

본 연구에서 동해안 조하대 해조군집은 생태학적상태지수(EEI-c)로 평가 시 'Good-Moderate' 등급으로 해조류가 서식하기에 양호한 환경으로 판단되지만, 팽생이모자반, 덩굴모자반 등의 모자반류와 미역과 같은 대형 갈조류들이 우점하는 이전 연구와는 다르게 대형 갈조류의 생물량과 피도가 감소함으로써 홍조류의 비율이 전체적으로 높게 나타났다. 이러한 해조군집의 변화는 수온을 포함하는 다양한 환경요인의 변화와 더불어 영양염류의 증감, 해양 오염, 해양 개발 등 자연 환경 변화로 인해 가속화되고 있어(Russell et al., 2009), 지속적인 모니터링을 통한 생태학적 자료 축적이 필요하다고 판단된다.

사 사

본 연구는 해양수산부와 해양환경공단에 주관하는 “국가 해양생태계 종합조사”와 해양수산부의 “과학기술 기반 해역이용영향평가 기술개발” 과제 지원을 받아 수행하였습니다.

References

- Akrong MO, Anning AK, Addico GND, deGraft-Johnson KAA, Adu-gyamfi A, Ale M and Meyer AS. 2021. Spatio-temporal variations in seaweed diversity and abundance of selected coastal areas in Ghana. *Reg Stud Mar Sci* 44, 101719. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101719>.
- 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.
- Calderia AQ and Reis RP. 2019. Brazilian macroalgae assemblages analyzed using the ecological evaluation index (EEI-c). *Ocean Coast Manag* 182, 104927. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104927>.
- Choi CG, Lee HW and Hong BK. 2009. Marine algal flora and community structure in Dokdo, east sea, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 42, 503-508. <https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.5.503>.
- 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://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.3.246>.
- Chung HS, Lee HJ and Lee IK. 1991. Vertical distribution of marine algae on a Gallam rocky shore of the mid-east coast of Korea. Korean J Phycol 6, 55-67.
- Clarke KR and Gorley RN. 2006. PRIMER V6: User manual/tutorial. PRIMER-E Ltd., Plymouth, U.K.
- Díaz-Pulido G, Gouezo M, Tilvook B, Dove S and Anthony KRN. 2011. High CO₂ enhances the competitive strength of seaweeds over corals. Ecol Lett 14, 156-162. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01565.x>.
- Fowler J and Cohen C. 1990. Practical Statistics for field biology. John Wiley and Sons, New York, NY, U.S.A., 1-227.
- Fulton CJ, Depczynski M, Holmes TH, Noble MM, Radford B, Wernberg T and Wilson SK. 2014. Sea temperature shapes seasonal fluctuations in seaweed biomass within the Ningaloo coral reef ecosystem. Limnol Oceanogr 59, 156-166. <http://doi.org/10.4319/lo.2014.59.1.0156>.
- Guiry MD and Guiry GM. 2021. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Retrieved from <http://www.Algaebase.org> searched on Oct 8, 2021.
- Han SJ, Hwang YH, Son MH, Choi HG and Jang JG. 2018. Seasonal variation in seaweed community structure in the subtidal zone of the southern part of the east coast of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 51, 571-578. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0571>.
- Jung SW, Rho HS and Choi CC. 2020. Characteristics and ecosystem changes of marine algal communities in Wangdolcho on the east coast of Korea. Ocean Sci J 55, 549-562. <https://doi.org/10.1007/s12601-020-0034-6>.
- Kim CS, Kim YS, Choi HG and Nam KW. 2014. Variations of seaweed community structure and distribution of crustose Coralline Algae at Gallam, Samchuk, eastern coast of Korea^{1a}. Korean J Environ Ecol 28, 10-23. <http://doi.org/10.13047/KJEE.2014.28.1.10>.
- Kim HS, Boo SM, Lee IK and Sohn CH. 2013a. National list of species of Korea [Marine Algae]. National Institute of Biological Resources, Incheon, Korea, 1-336.
- Kim YD, Ahn JK, Park MS, Kim HG, Min BH, Yeon SY and Kim YH. 2013b. Characteristics of subtidal marine plant community structure at Gangneung Sageunjin in the east coast of Korea. J Environ Sci Inter 22, 761-771. <https://doi.org/10.5322/JESI.2013.22.6.761>.
- Kim YD, Gong YG, Jeon CY, Song HI, Park MS, Lee CS, Yoo HI and Kim YH. 2010. Marine algal flora and community structure in Daejin on the mid-east coast of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 43, 532-539. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.5.532>.
- Kim YD, Park MS, Yoo HI, Kim SW, Jeong HD, Min BH and Jin HJ. 2012a. Characteristics of seasonal variations of subtidal seaweed community structure at three areas in the east coast of Korea. JESI 21, 1407-1418. <https://doi.org/10.5322/JES.2012.21.11.1407>.
- Kim YD, Park MS, Yoo HI, Min BH and Jin HJ. 2012b. Seasonal variations of seaweed community structure at the subtidal zone of Bihwa on the east coast of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 45, 262-270. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2012.0262>.
- Kim YD, Park MS, Yoo HI, Min BH, Moon TS and Choi HG. 2011. Seasonal variation in subtidal seaweed community structure at Hajung, on the southeast coast of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 44, 740-746. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2011.0740>.
- Kim YH and Lee JH. 1980. A study on the marine algae at the coast of Kori Nuclear Power Plant. I. Variation of algal community during 1977-1978. Korean J Bot 23, 3-10.
- Kim YH, Ahn JK, Lee JI and Eum HM. 2004. Effects of heated effluents on the intertidal macroalgal community near Uljin, the east coast of Korea. Algae 19, 257-270. <https://doi.org/10.4490/ALGAE.2004.19.3.257>.
- 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.
- Lee JI, Kim HY, Yoo KD, Yoon HD and Kim YH. 2015. Benthic marine algal community on the mid-east coast of Korea. Korean Soc Mar Environ Saf 21, 119-129. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2015.21.2.119>.
- Liang Z, Wang F, Sun X, Wang W and Liu F. 2014. Reproductive biology of *Sargassum thunbergii* (Fucales, Phaeophyceae). American J Plant Sci 5, 2574-2581. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.517271>.
- 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. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(84\)90035-2](https://doi.org/10.1016/0022-0981(84)90035-2).
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. Gen Sys 3, 36-71. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01855.x>
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. Nature 216, 168-169. <https://doi.org/10.1038/216168b0>.
- Orfanidis S, Panayotidis P and Stamatis N. 2001. Ecological evaluation of transitional and coastal waters: A marine benthic macrophytes-based model. Mediterr Mar Sci 2, 45-65. <https://doi.org/10.12681/mms.266>.
- Orfanidis S, Panayotidis P and Stamatis N. 2003. An insight to the ecological evaluation index (EEI). Ecol Indic 3, 27-33. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(03\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(03)00008-6).
- Orfanidis S, Panayotidis P and Ugland K. 2011. Ecological evaluation index continuous formula (EEI-c) application: a step forward for functional groups, the formula and refer-

- ence condition values. *Medit Mar Sci* 12, 199-231. <https://doi.org/10.12681/mms.60>.
- Padilla DK and Allen BJ. 2000. Paradigm lost : reconsidering functional form and group hypotheses in marine ecology. *Exp Mar Biol Ecol* 250, 207-221. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(00\)00197-0](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(00)00197-0).
- Park GJ, Ju H, Choi OI and Choi CG. 2017. Community structure and distribution of natural seaweed beds on the eastern coast of Korea. *Korean Soc Mar Environ Saf* 23, 338-346. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2017.23.4.338>.
- Roleda MY, Morris JN, McGraw CM and Hurd CL. 2012. Ocean acidification and seaweed reproduction: Increased CO₂ ameliorates the negative effect of lowered pH on meiospore germination in the giant kelp *Macrocystis pyrifera* (Laminariales, Phaeophyceae). *Global Change Biol* 18, 854-864. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02594.x>.
- Russell BD, Thompson JI, Falkenberg LJ and Connell SD. 2009. Synergistic effects of climate change and local stressors: CO₂ and nutrient-driven change in subtidal rocky habitats. *Glob Change Biol* 18, 2153-2162. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01886.x>.
- 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.
- Schermer 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. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.09.019>.
- Shin JD, Ahn JK, Kim YH, Lee SB, Kim JH and Chung IK. 2008. Community structure of benthic marine algae at Daejin and Jukbyeon on the Mid-East Coast of Korea. *Algae* 23, 231-240. <https://doi.org/10.4490/ALGAE.2008.23.3.231>.
- 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. <https://doi.org/10.5657/kfas.2011.44.1.085>.
- Taniguchi K. 1998. From *Isoyake* to kelp forest. Shokabo, Tokyo, Japan, 196.
- Wells E, Wilkinson M, Wood P and Scanlan C. 2007. The use of macro Taniguchi 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>.
- Whitaker SG, Smith JR and Murray SN. 2010. Reestablishment of the southern California rocky intertidal brown alga *Silvetia comperessa*: An experimental investigation of techniques and abiotic and biotic factors that affect restoration success. *Restor Ecol* 18, 18-26. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00717.x>.