

제주도 연안의 해조류 분포 특성을 이용한 생태학적 평가^{1a}

조성환² · 노영석³ · 원승환⁴ · 김수강⁵ · 정상목^{6*}

Ecological Evaluation Using Seaweed Distribution Characteristics along the Coast of Jeju Island^{1a}

Sung-Hwan Cho², Young-Seok Noh³, Seung-Hwan Won⁴, Soo-Kang Kim⁵, Sang-Mok Jung^{6*}

요약

본 연구는 제주도 연안의 해역별 해조류 분포특성을 비교하기 위하여 2018년 5월부터 12월까지 제주도 본섬 4개 정점과 유인도서 2개 정점의 마을어장에서 수행되었다. 해조류는 총 101종으로 녹조류 13종(12.9%), 갈조류 24종(23.8%) 그리고 홍조류 64종(63.4%)이 출현하였다. 계절별로는 5월에 가장 많은 해조류가 출현하고, 10월에 가장 적게 출현하는 전형적인 온대해역의 특징을 나타냈다. 수심별 해조류 출현 종수는 5m와 8m에서는 66종과 65종으로 유사하였으며, 12m에서는 74종으로 최대였다. 해역별로는 도서해역인 우도에서 66종으로 가장 많은 해조류가 출현하였고, 본섬의 동부 표선에서 27종으로 가장 적게 출현하였다. 출현종 가운데 중요도가 높은 해조류는 감태(*Ecklonia cava*)와 돌레혹산호말(*Corallina crassissima*)로 각각 21.1%와 20.3%를 나타냈으며, 방황혹산호말(*Corallina aberrans*) 9.2%, 에페드라게발(*Amphiroa ephedraea*) 6.2% 그리고 큰열매모자반(*Sargassum macrocarpum*) 4.4%의 중요도를 나타냈다. 해조류 중 산호말류는 평균 11.2종이 출현하였고, 각 해역의 산호말류 중요도는 평균 32.6%로 우도에서 14.7%로 가장 낮았고, 표선에서 가장 높은 41.0%를 차지하였다. 해조류 군락의 생태학적 평가지수(EEI)는 2.1~10.0으로 표선의 5월과 6월 12m에서 가장 낮았고, 그 밖의 다른 해역에서는 평균 7.3이상으로 좋은 상태를 나타냈다. 본 조사에서 설정한 생태등급기준 I 등급은 우도와 추자도의 수심 12m이었으며, II 등급은 사계와 추자도의 수심 5 m와 8 m가 해당되었다. III 등급은 표선과 귀덕2의 수심 5m와 12m, 평대의 수심 5m와 8m가 해당되었으며, IV 등급은 귀덕2의 수심 8m가 해당되었다.

주요어: 피도, 산호말류, 우도, 추자도, 생태학적 등급

- 1 접수 2022년 8월 19일, 수정 (1차: 2022년 10월 19일, 2차: 2022년 11월 3일), 게재확정 2022년 11월 9일
Received 19 August 2022; Revised (1st: 19 October 2022, 2nd: 3 November 2022); Accepted 9 November 2022
 - 2 해정개발 주식회사 연구소 소장 Haejeong Ocean Development Corp., 32, Hagwi 3-gil, Aewol-eup, Jeju-si, Jeju 63054, Korea (csh8453@naver.com)
 - 3 해정개발 주식회사 연구소 연구원 Haejeong Ocean Development Corp., 32, Hagwi 3-gil, Aewol-eup, Jeju-si, Jeju 63054, Korea (sumbihenry@gmail.com)
 - 4 제주특별자치도 해양수산연구원 연구원 Jeju Special Self-Governing Province Fisheries Resources Institute, Jeju Special Self-Governing 699-915, Korea (wsh0520@korea.kr)
 - 5 제주특별자치도 해양수산연구원 연구원 Jeju Special Self-Governing Province Fisheries Resources Institute, Jeju Special Self-Governing 699-915, Korea (oceaus@korea.kr)
 - 6 순천향대학교 생명과학과 연구교수 Dept. of Life Science and Biotechnology, Soonchunhyang Univ., 22-9, Soonchunhyang-ro, Sinchang-myeon, Asan-si, Chungcheongnam-do, Republic of Korea (thinkdi@gmail.com)
- a 본 연구는 제주특별자치도 "마을어장 생태환경조사" 사업 지원과 2022년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(선체부착생물 관리 및 평가기술개발, 20210651).
- * 교신저자 Corresponding author: thinkdi@gmail.com

ABSTRACT

This study was conducted at a village fishing farm on 4 peaks on the main island of Jeju Island and 2 peaks on an inhabited island to compare the distribution characteristics of seaweeds along the coast of Jeju Island from May to December 2018. A total of 101 species of seaweeds were surveyed, including 13 species (12.9%) of green algae, 24 species (23.8%) of Phaeophyta, and 64 species (63.4%) of Rhodophyta. The largest number of seaweeds appeared in May and the fewest in October, showing typical features of a temperate sea area. The number of seaweed species that appeared was 66 and 65 species at the water depths of 5 m and 8 m, respectively, and the largest was 74 species at 12 m. The number of seaweeds that appeared by area was the largest at 66 species on Udo Island, an eastern island near Jeju Island, and the lowest at 27 species in Pyoseon-ri, an eastern part of Jeju Island. The important values of emerging species were high in the order of, *Ecklonia cava* and *Corallina crassissima* at 21.1% and 20.3%, respectively, *Corallina aberrans* at 9.2%, *Amphora ephedraea* at 6.2%, and *Sargassum macrocarpum* at 4.4%. Among seaweeds, an average of 11.2 species of coralline algae appeared, and the mean importance value was 32.6% in the sea area. The lowest importance value was 14.7% on Udo Island, and the highest was 41.0% in Pyoseon-ri. The mean ecological evaluation index (EEI) of seaweed colonies ranged from 2.1 to 10. It was the lowest at the water depth of 12 m in Pyoseon-ri in May and June and was 7.3 or higher in other areas, indicating good condition. This study rated the standardized ecological grade I for the water depth of 12 m on Udo Island and grade II for the water depths of 5 m and 8 m in Sagye-ri and on Chujado Island. Grade III was the water depth of 5 m and 12 m in Pyoseon-ri and Guideok 2-ri and the water depth of 5 m and 8 m in Pyeongdae-ri, and grade IV was the water depth of 8 m in Guideok 2-ri.

KEY WORDS: COVERAGE, CORALLINE ALGAE, UDO ISLAND, CHUJADO ISLAND, ECOLOGICAL STATUS GROUP

서론

정부간 기후변화 협의회(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)는 기후변화가 현 상태로 진행된다면 이산화탄소(CO₂) 배출량 증가에 따라 기온은 금세기 말까지 1.8 ~ 4.0℃ 증가할 것이며, 기온상승으로 고위도의 빙하가 녹아 해수면은 2,100년까지 현재보다 28 ~ 43 cm 더 높아질 것으로 예측하였다. 또한 향후 이 같은 기후변화로 인하여 나타나게 될 해양의 변화에서 해수면 상승으로 인한 연안환경 변화가 가장 취약한 부분이라고 규정한 바 있다(Solomon *et al.*, 2007). 제주도는 한반도 최남단에 위치하고 해안선의 둘레가 253 km에 이르는 가장 큰 섬으로 일본 큐슈, 류큐열도, 대만, 중국 그리고 한반도에 둘러싸인 북서태평양의 연해로서 쿠로시오 해류와 여기서 분지된 대만난류, 황해난류, 중국대륙연안수, 황해 저층냉수 그리고 한국 연안수의 영향을 받는 해양수산학적으로 매우 중요한 위치에 놓여 있다(Ko *et al.*, 2003). 지난 38년간(1968~2005년) 한반도의 표층 수온은 평균 0.9℃가 상승하였으며, 해역별

로는 동해가 0.82℃, 서해가 0.98℃, 남해가 0.91℃, 특히 제주도는 1980년대 중반 이후 연간 0.05℃씩 지속적 수온 상승으로 인해 평균 1.5℃로 한반도 해역 중에서도 가장 빠른 수온 상승을 보인다고 하였다(Lee *et al.*, 2011). 2019년 국가 해양생태계 종합조사에 따르면 제주해역은 아열대화가 진행 중에 있고, 해조류의 종수는 2016년 185종에서 2019년 223종으로 증가 하였으나, 바이오매스는 제곱미터당 223g에서 190.2g으로 감소한 것으로 보고되었다(Kim *et al.*, 2019). 이는 연안해역 해조류 군락이 소멸되어 다양한 해양생물의 산란지나 서식지가 급격하게 감소하는 등의 해양생태계 변화를 초래하는 것으로 알려져 있다(Orfanidis *et al.*, 2001; Serisawa *et al.*, 2004; Hoegh-Guldberg and Bruno, 2010; Kang *et al.*, 2011; Takao *et al.*, 2015). 이러한 해조류는 생태학적 상태(Ecological status)라는 개념으로 지형적, 지질학적 그리고 기후요소뿐만 아니라 물리화학적 조건과 같은 생물군집에 대한 인간의 영향을 기술하기 위한 척도로 사용된다(Orfanidis *et al.*, 2001). 해조류의 형태, 영양염 흡수율, 광합성율 및 초식자의 섭식 용이성에

따라 엽상형(Sheet form, S), 사상형(Filamentous form, F), 성긴분기형(Coarsely Branched form, CB), 다육질형(Thick Leathery form, TL), 유절산호말형(Jointed Calcareous form, JC), 각상형(Cruciform form, C)의 6개 그룹으로 구분하였다(Littler and Littler, 1984). 다른 연구로는 6가지 기능형군을 생장이 느린 다년생 해조류인 다육질형과 유절산호말형을 생태학적 상태그룹(Ecological Status Group, ESG)인 ESG I 으로, 빠른 생장을 보이는 엽상형, 사상형, 성긴분기형을 ESG II 으로 정의하였고, ESG I에 속하는 해조류의 피도나 생체량이 높을 경우 인간활동의 간섭이 적은 곳이며, ESG II에 속하는 해조류가 상대적으로 많으면 교란이나 오염이 많은 곳으로 분류 하였다(Orfanidis *et al.*, 2001). 그러나 해조류의 생태학적 상태그룹에 따른 ESG I 과 ESG II 의 구분은 각각의 그룹내에서 소수 중에 의한 우점 현상이 현저히 높게 나타날 수 있고, 다양한 시·공간적 변화에 따라 다르므로 기존 생태학적 상태그룹에 의한 생태계의 특성을 판단하는 방법을 보완할 수 있는 노력이 필요하다.

따라서 본 연구는 제주도 연안에 서식하는 해조류 군락을 생태학적 특성에 따른 구분을 통해 연안해역의 생태학적 상태를 판단하기 위하여 제주도 본섬의 동·서·남·북에 위치한 4개 마을어장과 해양생태계 보존 상태가 상대적으로 양호한 2개 유인도서에서 2018년 5월부터 10월까지 연안에 서식하는 해조류 군락을 조사한 후 생태학적 특성에 구분하여 조사 분석하였으며, 각 조사해역의 생태학적 등급을 판정하였다.

연구방법

본 연구는 해양생태계 변화가 진행되고 있는 해역으로 제주도 본섬에 방위별(동 : 표선(126° 50.318', 33° 18.680') 귀덕(126° 16.610', 33° 26.778') 남 : 사계(126° 18.711', 33° 12.595') 북 : 평대(126° 50.782', 33° 32.265')) 4개 정점과 비교해역으로 안정적인 해양생태계를 유지하고 있는 해역으로 유인도서 2개 정점[우도(126° 58.176', 33° 30.510'), 추자도(126° 20.475', 34° 00.454')]에서 2018년 5월부터 10월까지 4회에 걸쳐 수행하였다(Figure 1).

각 해역에 대한 조사는 SCUBA diving을 이용한 Line-transect 방법으로 수행하였다. 해조류 채집은 각 마을어장 2개 조사라인의 수심 5, 8, 12m에서 50cm × 50cm 크기의 수중방형구(매 10cm 간격 Grid)를 설치한 후 수중카메라와 비디오투를 이용하여 촬영하였다. 촬영된 사진으로 생태학적 평가지수(Ecological Evaluation index, EEI) 분석을 위해 방형구내 각 해조류의 피도와 빈도를 조사하였으며, 피도와 빈도는 상대피도(relative coverage, RC)와 상대빈도(relative

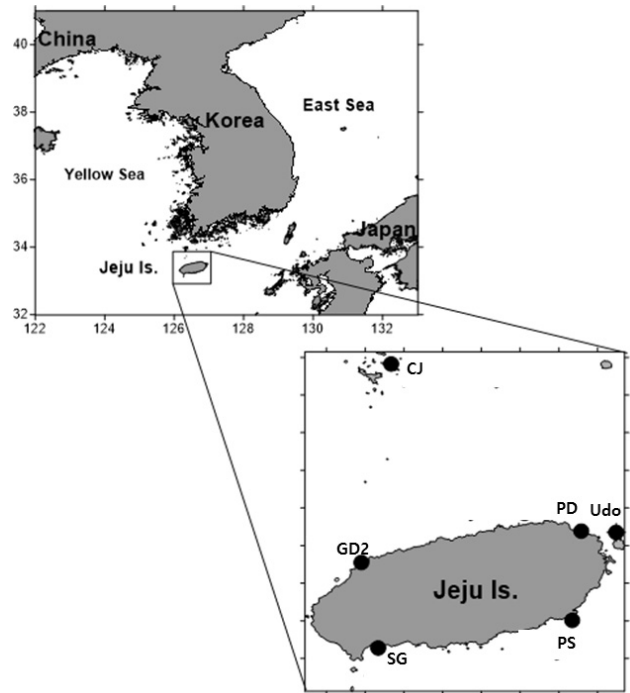


Figure 1. Location of study area at Jeju Island of Korea (PS: Pyoseon; GD2:Gwideok2, SG: Sagye, PD: Pyeongdae, Udo: Udo, CJ: Chujado).

frequency, RF)로 환산한 후 산술평균으로 중요도(importance value, IV)를 산출하였다(Saito and Atobe, 1970; Brower *et al.*, 1998). 해조상의 특징을 해석하는 지표로는 C/P 값(Segawa, 1956), R/P 값(Feldmann, 1937) 및 (R+C)/P의 값(Cheney, 1977)을 이용하였다. 피도와 빈도 조사가 완료된 후 방형구내 서식하는 모든 해조류를 채집하였고, 10% 중성 해수-포르말린 용액으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 채집된 해조류는 분류 후 이와 강(2001)의 학명, 국명을 참고하여 동정하고 습중량(wet weight, 0.1 g)을 측정하였다. 또한 생태학적 상태그룹(ESG)으로 구분하기 위하여 해조류의 외형, 성장속도, 표현형의 적응성, 수명 및 천이속도를 고려한 출현종 5개 그룹((ESG I A=thick perennial; ESG I B= thick plastic; ESG I C=shade-adapted plastic; ESG II A= fleshy opportunistic; ESG II B= filamentous sheet-like, opportunistic))으로 구분한 Orfanidis *et al.* (2003)의 분류를 따랐다. 또한 ESG I 과 II 피도의 합 비율로 계산하여 5단계(Bad, Low, Moderate, Good, High)로 구분하였고 2~10점의 단계로 적용하였다(Orfanidis *et al.*, 2011).

생태학적 상태그룹(ESG) I 과 II 를 이용하여 생태학적 평가지수(Ecological Evaluation index, EEI)를 구하는 공식은 다음과 같다(Orfanidis *et al.*, 2011).

$$\text{ESG I (\% coverage)} = [(I A * 1) + (I B * 0.8) + (I C * 0.6)] = x$$

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

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

$$f * (x/100) * (y/100)$$

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

$$f=-0.1869$$

각 조사정점에서 촬영된 수중사진을 CPCe 4.1 (Coral Point Count with Excel extensions 4.1)로 스캔을 하여 주요 생물군의 분포 특성에 대한 영상분석을 수행하였다(Kohler and Gill, 2006). CPCe 4.1 프로그램에서 측정하는 주요 생물군은 대형 갈조류 감태 (*E. cava*)와 산호말류를 제외한 모든 해조류가 포함된 엽상형 해조류(Sheet form algae, SA), 유절산호말류(Jointed coralline algae, CA), 무절산호말류(Crustose coralline algae, CA), 산호(Coral), 해면(Porifera)으로 나타났다. 이를 이용하여 각 조사해역의 SA 그룹과 CA 그룹의 분포 및 상관관계를 분석하였으며, SA 그룹에는 다육질형(TL), 엽상형(S), 성긴분형(CB), 사상형(F)이고, CA 그룹에는 각상형(C), 유절산호말형(JC)이 포함시켰다.

각 해역의 해조류 군락의 생태학적 특성을 이해하기 위한 다양도 지수(Shannon and Wiener, 1963), 풍부도 지수(Margalef, 1958), 균등도 지수(Pielou, 1977) 및 우점도 지수(Simpson, 1949)를 계산하였으며, 각 해역에서 조사된 해조류 피도와 생태학적 지수를 이용하여 계산된 결과를 기준으로 중간경쟁, 군집안정도 및 환경조건 등을 평가하였다(Table 1).

결과 및 고찰

1. 연구 해역의 특성

연구해역은 일부해역을 제외하고 대부분의 연안 해역이 암반으로 구성되어 있다. 표선은 5m와 15m는 암반대가 발달해 있으며, 북서부해역의 귀덕2는 사질대가 발달해 있는 해역으로 남측 끝단의 일부 해역에만 암반대가 분포하고 나머지는 대부분 사질대로 구성되어 있다. 남서부해역의 사계는 조사지역 중 가장 넓은 사질대 면적을 가지고 있지만 해안선 부근에서는 주로 암반구조가 수직으로 융기되어 있어 해안선 지역의 수심이 5m 이상으로 나타났다. 평대는 동·서 방향으로 길게 해안선에 평행한 모양으로 위치하는 해역으로 대부분이 암반으로 되어 있거나, 암반사이에 크고 작은 사질대가 분포하는 경향을 보였다. 우도 해안에서 서쪽 외해로 갈수록 완만하게 깊어지는 특징을 보였으나 수심 5m 이내 지역은 기반암이 기복을 이루는 지형을 보였다. 제주해협에 위치해 있는 추자도 주변해역은 수심 100m미만의 해저면 경사가 완만하였다.

2. 해조류 출현종수

연구기간 동안 출현한 해조류는 녹조류 13종(12.9%), 갈조류 24종(23.8%) 그리고 홍조류가 64종(63.4%)으로 총 101종이었으며, 해역별로는 27~66종으로 우도에서 66종으로 가장 많은 해조류가 출현하였고, 추자도에서 47종 그리고 제주도 남부의 사계에서 40종의 순으로 제주도 본섬에 비하여 유인도서에서 많은 해조류가 출현하는 경향을 보였다. 계절적으로는 대부분의 해역에서 춘계인 5월에 평균 28±8.9종으로 가장 많았고, 시간이 경과함에 따라 점차 감소하여 추계인 10월에 17±4.1종으로 가장 적은 해조류가 출현하는 전형적인 온대 해역의 특징을 보였다. 그러나 추자도 해역은 5월의 21종에 비하여 6월에 32종으로 가장 많은 종이 출현하였고, 이후 점차 감소하는 경향을 보였다

Table 1. Evaluation of community stability and environment conditions using seaweed coverage and ecological indices at Jeju Island

Ecological Evaluation Index(EEI)	Diversity index(H')	Dominance index(d)	Interspecific competition	Community stability	Environmental condition
0.00-2.00	0.00-1.00	0.90-1.00	no	extreme unstable	very bad
2.00-4.00	1.00-2.00	0.70-0.90	weak	unstable	bad
4.00-6.00	2.00-3.00	0.50-0.70	normal	normal	normal
6.00-8.00	3.00-4.00	0.25-0.50	high	stable	good
8.00-10.00	>4.00	<0.25	very high	very stable	very good

(Figure 2). Kim *et al.*, (2013)은 제주도 동서남북에 해당하는 온평, 신창, 토평, 북촌 지역의 조하대에서 확인된 해조류가 총 71종으로 조사된 사례가 있으며 조사기간은 2012년 4월부터 11월까지로 본 연구수행의 계절적 차이와 유사하다.

각 해역별 분류군별 출현종수와 구성비는 제주도 동부의 표선에서 27종이 출현하였으며, 녹조류와 갈조류가 각각 5종(18.5%)이 출현하였고, 홍조류 17종(63.0%)으로 가장 낮았으며, 반면 제주도 주변의 유인도서인 우도에서는 66종으로 가장 다양한 해조류가 출현하였으며, 분류군별로는 녹조류가 7종(10.6%), 갈조류와 홍조류의 출현종수는 각각 19종(28.8%)과 40종(60.6%)으로 가장 많은 종수를 나타냈다.

해조상의 지역적 특성을 나타내는 C/P, R/P, (R+C)/P값은 각 0.29~1.00, 2.07~4.20, 2.47~4.80범위의 해조상을 보였다. 특히 (R+C)/P값에서 귀덕2, 표선, 평대가 3이상으로 온대와 열대 사이의 혼합 해조상을 나타냈다. Cheney (1977)에서 R+C/P 값은 3보다 작을때는 온대성 내지 한대성의 해조상이며, 6미만이면 혼합 해조상을 나타내고 그 이상이면 열대성의 해조상을 나타낸다고 보고하였다(Table 2). 제주도 남쪽 연안인 서귀포의 보목과 새섬 조하대에서는 수심 4~5m에 무질산호조류가 번무하였고, 6~7m에서는 감태 군락이 서식하는 것으로 확인되었으며, 우도에서는 감태가 1~10m의 수심에서는 서식하는 것으로 조사되었다

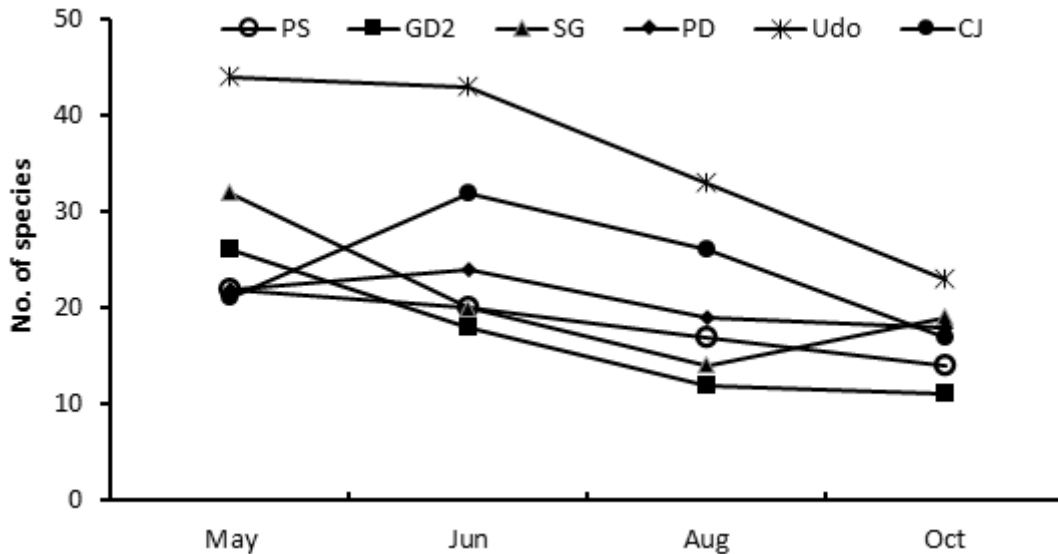


Figure 2. Monthly variations of the number of seaweed species during study period (PS: Pyoseon; GD2:Gwideok2, SG: Sagye, PD: Pyeongdae, Udo: Udo, CJ: Chujado).

Table 2. Comparison of R/P, C/P and (R+C)/P values of seaweeds, number of species at each study area in coastal of Jeju Island

Study area	C	C/P	P	R/P	R	(R+C)/P	Total (No. of species)
PS	5	1.00	5	3.40	17	4.40	27
GD2	3	0.60	5	4.20	21	4.80	29
SG	3	0.27	11	2.36	26	2.64	40
PD	3	0.38	8	2.75	22	3.13	33
Udo	7	0.37	19	2.11	40	2.47	66
CJ	4	0.29	14	2.07	29	2.36	47
Total	13	0.54	24	2.67	64	3.21	101

(PS: Pyoseon; GD2:Gwideok2, SG: Sagye, PD: Pyeongdae, Udo: Udo, CJ: Chujado). C, P and R in table are Chlorophyta, Phaeophyta and Rhodophyta, respectively.

(Chung *et al.*, 1998; Kang *et al.*, 2011).

제주도 본섬과 유인도서에서 조사된 해조류 평균 출현종수는 제주도 본섬은 11.6종으로 유인도서의 17.8종에 비하여 6.2종이 적었다. 수심별 해조류 종수는 제주도 본섬의 경우 수심 5m와 8m에서는 각각 평균 16.5종과 15.8종으로 차이가 크지 않았으나, 12m에서는 12.5종으로 가장 적게 출현하였다. 한편 유인도서에서는 수심 5m에서 평균 22종으로 가장 많은 종이 출현하였고 12m에서 17.5종 그리고 8m에서 가장 적은 16.5종이 출현하여 제주도 본섬과 다소 다른 경향을 보였다. 이는 수심에 따른 해조류 군집의 영향을 주는 요인이 건조, 광 노출, 경쟁 등의 환경요인들에 의하여 많은 영향을 나타낸다고 알려져 있다(Dring, 1982). 제주도 연안의 해조류 출현종수의 변화는 조사해역의 위치와 계절별 변화가 수심에 따른 차이보다 더욱 현저하게 나타나는 것으로 사료된다. 또한 수심별 차이는 제주도 본섬이 유인도서보다 홍조류의 출현 유·무에 따른 영향을 받고 있는 것으로 추정된다.

3. 피도, 빈도, 상대피도, 상대빈도 및 중요도

해조류의 피도, 빈도, 상대피도, 상대빈도를 기초로 한 중요도(IV)를 계산한 결과 상위 10종은 감태(*E. cava*)와 돌레혹산호말(*C. crassissima*)이 각각 21.1와 20.3의 가장 높은 중요도를 보였다. 이 외에도 다른 8종은 모두 10이하의 중요도를 보였으며 방황혹산호말(*C. aberrans*)이 9.2, 에페드라게발(*A. ephedraea*)이 6.2 그리고 큰열매모자반(*S. macrocarpum*)이 4.4의 순으로 비교적 높은 중요도를 나타내는 것으로 조사되었다(Table 3). 또한 2012년 조사에서도 제주연안에서

감태와 돌레혹산호말(*C. crassissima*)이 전체 생물량의 70% 이상을 차지하였고, 그다음으로 방황혹산호말(*C. aberrans*) 순으로 우점하였다(Kim *et al.*, 2013).

각 해역에 출현한 해조류의 출현종수와 피도를 기준으로 산호말류의 점유율을 계산한 결과, 제주도 본섬의 동부 표선은 총 출현종 27종 가운데 9종이 산호말류였으며, 총출현종의 중요도 대비 41.0%를 차지하는 것으로 나타났다. 반면 유인도서인 우도는 총 출현종 66종 가운데 12종이 산호말류였으며, 총출현종의 중요도 대비 14.7%로 가장 낮은 비율을 차지하였다(Table 4). 최근 제주 남부 해역인 하도에서 방황혹산호말(*C. aberrans*) 43.4%, 표선에서 방황혹산호말(*C. aberrans*) 73.4%, 하례에서 넓은게발(*Amphiroa anceps*) (49.4%), 법환에서 방황혹산호말(*C. aberrans*) 25.8%로 산호말류가 확인되었다(Jung *et al.*, 2019). 이 같은 해조류 피도, 빈도 자료를 이용한 중요도 계산 결과는 출현종 전체 중요도 대비 산호말류의 중요도의 비율을 계산한 결과로써 향후 제주도 연안의 갯녹음 발생면적을 산출하는 하나의 방법으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 게다가 기존의 갯녹음 해역 산출 방법은 잠수를 통한 갯녹음 피도만 측정하거나 항공 촬영을 통한 이미지 분석으로 조사되고 있다(Shin *et al.*, 2015).

4. 생태학적 평가지수(Ecological Evaluation Index, EEI)

해조류의 기능형을 기준으로 ESG I 과 ESG II 로 구분하여 계산한 생태학적 평가지수는 다음과 같이 계산되었다. 제주도 본섬의 동부 표선은 수심별로 다소 차이는 있지만, 전 수심에서 2.1~7.2로서 5월과 6월을 제외하고, 해역

Table 3. Evaluation of importance value using top 10 seaweed species based on coverage (C), frequency (F), relative coverage (RC) and relative frequency (RF)

Species	C	F	RC	RF	IV
<i>Ecklonia cava</i>	24.4	15.2	24.5	17.7	21.1
<i>Corallina crassissima</i> *	19.3	18.8	20.7	19.9	20.3
<i>Corallina aberrans</i> *	9.5	10.3	9.0	9.5	9.2
<i>Amphiroa ephedraea</i> *	6.0	7.3	5.7	6.8	6.2
<i>Sargassum macrocarpum</i>	4.3	4.0	4.8	4.1	4.4
<i>Corallina officinalis</i> *	3.5	4.7	3.6	4.5	4.0
<i>Codium coactum</i>	3.8	2.7	4.0	3.4	3.7
<i>Grateloupia angusta</i>	2.9	4.5	2.7	4.2	3.5
<i>Amphiroa anceps</i> *	2.8	3.7	2.8	3.5	3.2
<i>Undaria pinnatifida</i>	3.4	2.5	3.5	2.4	2.9

* coralline algae, ** Importance value (IV),

Table 4. Evaluation of ecological evaluation index (EEI) based on seaweed community

Study area	May	June	August	October
PS	Low	Moderate	Good	Good
GD2	Good	Good	Good	Good
SG	High	High	High	High
PD	High	Moderate	High	Good
Udo	High	Moderate	Good	High
CJ	High	High	Good	Good

(PS: Pyoseon; GD2:Gwideok2, SG: Sagye, PD: Pyeongdae, Udo: Udo, CJ: Chujado).

이 양호한 Good 단계로 평가되었다. 서부 귀덕2, 사계, 평대, 우도, 추자도는 5.5~8.3으로서 Moderate부터 High 단계까지 넓게 분포하였으나 대체로 조사시기에 관계없이 양호한 평가지수를 나타냈다(Table 4).

결과적으로 제주도 연안에서 생태학적 평가지수는 해조류 군락에서 큰 차이를 보인 제주도 본섬의 동부 표선을 제외하면 비교적 유사한 지수를 보여 차이가 없었는데, 제주도 연안에 서식하는 해조류 군락의 특성상 ESG II (II A, II B)에 속하는 해조류보다는 ESG I (I A, I B, I C)에 포함되는 다육질형(TL), 유절산호말형(JC), 각상형(C) 종들이 피도의 큰 비율을 차지하기 때문 인 것으로 판단된다. 이는 Kang *et al.*, (2015)가 2009년 제주 남부 서귀포 조하대 부근 조사 결과 총 출현종 87종 중 ESG I 속하는 종은 13종 (14.9%), ESG II에 속하는 종은 총 74종 (85.1%)으로 사계의 생물학적 상태그룹과 유사한 것으로 나타났으며, 우도의 ESG I 속하는 종의 피도비율은 계절에 따라 다르지만 64.33~97.83%이며, ESG II에 속하는 종은 7.22~15.67%로 나타나 생태학적 평가지수는 High인 것으로 보고되었다.

5. 해조류 피도와 생태학적 지수를 이용한 군집평가

각 해역의 해조류 피도를 이용한 생태학적 평가지수와 생태학적 제지수와와의 관계를 보면, 제주도 본섬의 동부 표선의 생태학적 제지수는 수심 12m에서 가장 낮은 3.71로 Low의 단계이며, 다른 정점은 모두 5.0 이상으로 Moderate 단계로 나타났다. 다양도와 우점도 지수는 각각 1.0 이상과 0.3 이상으로 군집안정도는 불안정하지만, 환경조건은 좋은 상태를 나타냈다. 서부 귀덕2의 모든 정점에 생태학적 평가 지수는 전 수층 평균 7.01로 Good 단계이며, 다양도와 우점도 지수는 각각 1.0 이상과 0.3 이상으로 군집안정도는 불안정하지만, 환경조건은 좋은 상태를 나타냈다. 남부 사계 모든 정점의 생태학적 평가지수는 8.5 이상으로 High 단계이며, 다양도 지수는 전 수층 평균 1.82로서 군집안정도는 불

안정하였지만, 우점도 지수는 평균 0.28로 좋은 상태를 나타냈다. 북부 평대의 생태학적 평가지수는 수심 12m에서는 5.67로 Moderate 단계에 해당되었으나, 다른 수층은 7.0 이상으로 Good 단계이다. 다양도 지수는 수심 5m에서는 2.03으로 군집안정도와 환경상태는 모두 보통, 다른 수층의 다양도와 우점도 지수는 각각 2.0 이하와 0.2 이상으로 군집안정도는 불안정하였지만, 환경상태는 좋은 상태를 나타냈다 (Table 5).

2012년 군집분석에서도 제주도 본섬의 동서남북으로 조사된 우점도지수(DI)는 0.51~0.63으로, 균등도지수(J')는 0.63~0.51, 다양도지수(H')는 2.04~2.32로 조사되었다 (Kim *et al.*, 2013). 유인도서인 우도의 생태학적 평가지수는 전 수층이 7.0 이상으로 Good 단계이다. 다양도와 우점도 지수는 수심 12m에서 각각 1.58과 0.33으로 군집안정도는 불안정하였지만, 환경상태는 좋은 상태, 다른 수층의 다양도와 우점도 지수는 각각 2.0 이상과 0.2 이하로서 군집안정도는 보통 상태이고, 환경상태는 매우 좋은 상태를 나타냈다. 추자도의 생태학적 제지수는 전 수층이 8.0 이상으로 High 단계이다. 다양도와 우점도 지수는 수심 5m에서 각각 2.05과 0.18으로 군집안정도는 보통이었지만, 환경상태는 매우 좋은 상태, 다른 수층의 다양도와 우점도 지수는 각각 2.0 이하와 0.3 이상으로서 군집안정도는 불안정한 상태이고, 환경상태는 좋은 상태를 나타냈다(Table 5). 특히 우도의 경우 2011년 군집분석에서도 우점도지수(DI)는 0.15~0.24로, 균등도지수(J')는 0.75~0.85, 다양도지수(H')는 2.87~3.71인 것으로 조사되었다(Kang, 2011)

6. 영상분석을 이용한 엽상형해조류와 산호말류의 비율

각 해역의 엽상형해조류와 산호말류의 피도분포 특성을 보면 엽상해조류는 표선과 귀덕2에서 가장 낮았고 산호말류는 가장 높았던 반면, 우도와 평대에서 엽상형해조류 피도는 가장 높고 산호말류 피도는 가장 낮은 결과를 나타냈다. 2017년 제주남부지역 산호말류의 비율이 표선과 하례

Table 5. Ecological evaluation of seaweed community using number of species, biomass, EEI and ecological indices in coastal of Jeju Island

Study area	Depth (m)	No. of species	Biomass (gWWt/m ²)	EEI	d	J'	H'	λ
PS	5	18	3,351.3	6.0	2.09	0.51	1.48	0.37
	8	18	3,489.9	5.5	2.08	0.37	1.07	0.46
	12	20	3,668.5	3.7	2.31	0.44	1.33	0.36
GD2	5	22	2,082.4	6.3	2.75	0.70	2.16	0.18
	8	21	2,401.9	7.5	2.57	0.56	1.70	0.25
	12	18	2,297.6	7.3	2.20	0.36	1.04	0.50
SG	5	24	3,441.0	8.6	2.82	0.63	1.99	0.20
	8	24	2,624.7	8.8	2.92	0.60	1.91	0.25
	12	23	1,568.3	8.7	2.99	0.50	1.57	0.38
PD	5	24	2,606.9	7.6	2.92	0.64	2.03	0.20
	8	22	2,437.4	7.3	2.69	0.53	1.64	0.27
	12	23	3,207.2	5.7	2.73	0.54	1.70	0.25
Udo	5	47	3,890.1	7.8	5.56	0.67	2.58	0.12
	8	43	2,943.8	7.3	5.26	0.64	2.39	0.17
	12	41	5,046.6	7.1	4.69	0.43	1.58	0.33
CJ	5	25	2,733.1	8.7	3.03	0.64	2.05	0.18
	8	20	2,810.8	8.6	2.39	0.51	1.54	0.35
	12	36	1,775.5	8.9	4.68	0.46	1.67	0.39

(PS: Pyoseon; GD2:Gwideok2, SG: Sagye, PD: Pyeongdae, Udo: Udo, CJ: Chujado).

지역에서 각각 98.9%, 96.1%로 생물량의 대부분을 차지하는 것으로 조사되었다(Jung *et al.*, 2019). 최근 제주 연안에서는 엽상 해조류가 소실되고 무절석회조류가 우점하는 경향이 증가하는 것으로 나타났다(Kim, 2002). 본 조사에 영상 분석을 통하여 도출한 엽상형해조류와 산호말류의 피도는 조사시기별로 상호 음의 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났다. 각 시기별 상관관계는 10월에 $Y=-0.6037x+78.302$ ($R^2=0.7217$)로 가장 높았고, 5월에 $Y=-0.6998x+63.118$ ($R^2=0.5453$), 6월에 $Y=-0.7361x+68.288$ ($R^2=0.5392$) 그리고 8월에 $Y=-1.2544x+83.005$ ($R^2=0.4936$)으로 가장 낮은 관계를 나타냈다(Table 6).

엽상형해조류와 산호말류의 피도를 기준으로 선정한 제주연안 해조류 등급 기준과 해당되는 해역과 정점들을 제시하였다(Table 7). 그 결과 엽상형해조류나 산호말류의 피도가 모두 I 등급에 해당하는 정점은 없었으며, II 등급은 귀덕2의 12m를 제외하고는 대부분 우도나 추자도의 일부 수심이 포함되는 특징을 보였다. 귀덕2의 수심 12m는 거품돌산호(*Alveopora japonicus*)의 높은 서식밀도로 엽상형해조류 피도가 V 등급에 해당하지만, 산호말류의 피도가 15%~

30%로 비교적 낮게 나타나면서 II 등급에 해당되는 특징을 나타냈다.

7. 제주연안 마을어장 생태등급기준 및 판정

어떤 해역의 해조상의 안정도는 우점도, 종다양도, 생태학적 평가지수 등 다양한 군집지수(Community)로 판단할 수 있는 것으로 알려져 있다(Ludwig and Reynolds, 1988; Orfanidis *et al.*, 2001; 2003). 그러나 본 조사에서 다양한 지수를 사용하여 판정한 결과로는 각 해역의 생태를 구분하기가 쉽지 않았다. 이는 제주연안의 저서생물상이 우점도나 종다양도 지수로 구분이 될 정도의 현저한 차이를 나타내지 않기 때문으로 추정된다(Table 8).

따라서 본 조사에서는 제주연안 마을어장에 서식하는 저서생물상을 고려하여 해조류 피도를 이용한 생태학적 평가지수와 영상분석으로 조사된 엽상형해조류와 산호말류 그리고 자포동물문(Cnidaria)과 해면동물문(Porifera)의 피도를 기준으로 제주연안 마을어장의 생태등급기준을 정의하였다. 해면동물과 저서인 자포동물은 전 세계의 넓은 분포

Table 6. Coverage of sheet form algae (SA) and coralline algae (CA) using image analysis method

Study area	Depth (m)	May		Jun		Aug		Oct		Mean	
		SA	CA	SA	CA	SA	CA	SA	CA	SA	CA
PS	5	14.4	55.5	5.8	75.1	10.3	89.6	6.2	90.1	9.2	77.6
	8	9.3	57.9	8.5	66.5	6.7	90.3	1.4	90.1	6.5	76.2
	12	34.6	36.3	59.3	17.0	5.0	93.8	0.0	90.7	24.7	59.4
GD2	5	11.5	79.0	7.5	91.9	0.0	97.0	5.7	84.5	6.2	88.1
	8	6.0	50.9	4.0	52.5	1.0	94.3	21.9	65.0	8.2	65.7
	12	28.2	31.9	4.5	23.4	10.4	22.0	14.4	39.9	14.3	29.3
SG	5	23.3	38.0	44.4	43.6	25.1	72.9	6.1	87.4	24.7	60.5
	8	20.8	33.8	24.5	71.6	29.9	68.7	40.6	52.5	29.0	56.7
	12	13.0	50.3	21.3	49.1	61.7	35.2	41.7	46.3	34.4	45.2
PD	5	17.4	59.7	11.2	70.2	24.7	71.2	37.5	57.4	22.7	64.6
	8	15.4	58.0	22.2	46.8	21.4	31.3	28.5	67.1	21.9	50.8
	12	58.1	17.0	27.8	34.4	27.6	23.2	63.0	20.7	44.1	23.8
Udo	5	49.9	44.7	72.2	21.5	31.7	23.9	13.8	9.4	41.9	24.9
	8	30.8	48.7	73.9	13.9	37.3	18.0	76.7	17.9	54.7	24.6
	12	60.4	20.3	35.6	52.0	42.4	8.8	74.6	21.6	53.2	25.7
CJ	5	27.0	42.9	32.4	49.6	13.3	53.6	61.3	36.9	33.5	45.7
	8	20.3	34.5	20.0	47.6	55.5	28.2	10.4	80.2	26.6	47.6
	12	17.3	56.6	58.8	9.4	38.8	16.8	16.1	33.8	32.7	29.1

(PS: Pyoseon; GD2:Gwideok2, SG: Sagye, PD: Pyeongdae, Udo: Udo, CJ: Chujado).

Table 7. Classification of ecological grade with the coverage (%) of sheet form algae (SA) and coralline algae (CA) at each study area in coastal of Jeju Island

Grade	SA(%)	Station/ Depth	CA(%)	Station/ Depth
I	>60		<15	
II	45~60	Udo/8m, Udo/12m,	15~30	GD2/12m, PD/12m, Udo/5m, Udo/8m, Udo/12m, CJ/12m
III	30~45	SG/12m, PD/12m, Udo/5m, CJ/5m, CJ/12m	30~45	
IV	15~30	PS/12m, SG/5m, SG/8m, PD/5m, PD/8m, CJ/8m	45~60	PS/12m, SG/8m, SG/12m, PD/8m, CJ/5m, CJ/8m
V	<15	PS/5m, PS/8m, GD2/5m, GD2/8m, GD2/12m,	>60	PS/5m, PS/8m, GD2/5m, GD2/8m, SG/5m, PD/5m

(PS: Pyoseon; GD2:Gwideok2, SG: Sagye, PD: Pyeongdae, Udo: Udo, CJ: Chujado).

에 서식하는 해양에서의 주된 구성 생물로써, 높은 수준의 생물량과 다양성, 표영계와 저서계의 서식지를 연결하기 때문에 생태학적으로 매우 높은 가치가 있다(Webster *et al.*, 2011). 또한, 여과섭식 생물로 해수 혹은 담수의 여과로 먹이원을 공급받고, 섭식으로 인한 미생물과의 공생을 통하여

영양원을 교환하고 골편의 안정화, 노폐물의 정화와 감염에 저항하기 위하여 많은 종류의 이차대사산물을 생산하기 때문에 생리학적 가치도 우수하다(Thomas *et al.*, 2010).

Table 9는 해조류와 저서동물의 해당되는 기준에 1~5점 까지 점수를 부여한 것이며, 판정점수는 해조류와 저서동물

Table 8. Each score and standard of evaluation by each study items for the division of ecological grade

Ecological grade	Coverage score	Numerical value	Seaweeds			Benthos
			EEI	SA(%)	CA(%)	Cnidarian+Profera(%)
I	>16	5	>8.0	>60	<15	<5
II	13~16	4	6.0~8.0	45~60	15~30	5~10
III	9~13	3	4.0~6.0	30~45	30~45	10~15
IV	5~9	2	2.0~4.0	15~30	45~60	15~20
V	<5	1	<2.0	<15	>60	>20

SA : sheet form algae, CA : coralline algae.

Table 9. Results of ecological grade using coverage of seaweeds and invertebrates at each study area

Study area	Depth (m)	Seaweed						Invertebrate		Decision score	Ecological grade
		EEI	Score	sheet form algae	Score	Coralline algae	Score	Cnidaria Porifera	Score		
PS	5	6.0	3	9.2	1	77.6	1	0.3	5	10	III
	8	5.5	3	6.5	1	76.2	1	0.3	5	10	III
	12	3.7	2	24.7	2	59.4	2	0.0	5	11	III
GD2	5	6.3	4	6.2	1	88.1	1	0.0	5	11	III
	8	7.5	4	8.2	1	65.7	1	18.9	2	8	IV
	12	7.3	4	14.3	1	29.3	4	53.2	1	10	III
SG	5	8.6	5	24.7	2	60.5	1	0.0	5	13	II
	8	8.8	5	29.0	2	56.7	2	0.7	5	14	II
	12	8.7	5	34.4	3	45.2	2	2.0	5	15	II
PD	5	7.6	4	22.7	2	64.6	1	0.0	3	10	III
	8	7.3	4	21.9	2	50.8	2	0.5	3	11	III
	12	5.7	3	44.1	3	23.8	4	0.9	3	13	II
Udo	5	7.8	4	41.9	3	24.9	4	0.2	5	16	I
	8	7.3	4	54.7	4	24.6	4	0.3	5	17	I
	12	7.1	4	53.2	4	25.7	4	2.3	5	17	I
CJ	5	8.7	5	33.5	3	45.7	2	3.9	5	15	II
	8	8.6	5	26.6	2	47.6	2	1.6	5	14	II
	12	8.9	5	32.7	3	29.1	4	1.1	5	17	I

(PS: Pyoseon; GD2:Gwideok2, SG: Sagye, PD: Pyeongdae, Udo: Udo, CJ: Chujado).

4가지 항목에 부여된 점수를 합산하여 등급을 나눌 수 있도록 정한 합산점수이다. 제주연안 마을어장의 생태등급을 5단계 중 모든 해역이 I~IV등급에 해당하였고, V등급에 해당하는 해역은 없는 것으로 조사되었다. 생태등급 I등급의 마을어장은 우도(비양)의 모든 수심과 추자도(횡간) 해역의 수심 12m로 가장 양호한 저서생물상을 나타냈다. II등급의 마을어장은 사계 해역의 모든 수심과 추자도(횡간)

의 수심 5m와 8m가 해당되었다. III등급의 마을어장은 포선 해역이 모든 수심과 귀덕2의 수심 5m와 12m, 평대 해역의 수심 5m와 8m가 해당되었다. IV등급의 마을어장은 귀덕2의 수심8m만 나타났다(Table 9).

본 연구와 같이 조간대 지역과 대조되는 수심별 조사에서 특히 해조류의 종다양성과 생물량이 환경과 연관이 높기 때문에 연안생태계의 중요한 척도로의 역할이 가능하다

(Yoo, 2003; Choi *et al.*, 2006). 뿐만 아니라 제주도는 해수 수온 상승 및 대마난류와 중국 양자강의 영향을 받고 있어 해조류 생물학적 상태 파악하는 것은 기후 변화에 따른 국내 연안의 생태계 변화를 예측할 수 있다(Belkin, 2009). 제주도는 여름철에 수온상승과 저염의 중국대륙의 담수 영향과, 계절별 남해 담수와 서해저층냉수 등의 영향과 함께 여름철 육지에서의 담수유입과 해안선 인근의 용천수로 인해 해양환경의 변화가 매우 복잡한 특성을 보인다(Kim and Rho, 1994). 또한, 제주도 연안에서는 온대해역인 국내 본토와는 다르며 열대와 아열대성 생물들이 다양하며, 해조류의 종다양성도 국내 다른 지역에 비해 높은 것으로 알려져 있다(Park *et al.*, 1994; Yang *et al.*, 2007).

따라서 본 연구를 통해 제주 연안의 해조류 군집의 객관적인 생태학적 평가와 엽상형해조류와 산호말류의 경쟁을 고려하여 생태학적 등급을 좀 더 세밀하게 구분 할 수 있었다. 그러나 아직까지 엽상형해조류와 산호말류의 경쟁을 고려한 해역의 생태등급에 대한 세밀한 구분은 아직 학계에 보고된 바가 없으며, 앞으로 조사시기, 조사방법이나 자료의 해석 등 더욱 자세한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 이를 기반으로 국가가 수행하는 수산자원증대사업, 수산자원산란 서식장조성사업, 바다숲조성사업 등을 진행하기 위한 해역의 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

REFERENCES

- Belkin, I.M.(2009) Rapid warming of large marine ecosystems. *Prog. Oceanogr.* 81: 207-213.
- Brower, J.E., J.H. Zar and C.N. Von Ende(1998) Field and laboratory methods for general ecology(4th ed.). WCB/McGraw-Hill, Boston, MA, U.S.A., 273pp.
- Cheney, D.P.(1977) R & C/P-A new and improved ratio for comparing seaweed floras. *Suppl. J. Phycol.* 13: 129.
- Choi, C.G., S.N. Kwak and C.H. Sohn(2006) Community structure of subtidal marine algae at Uljin on the East Coast of Korea. *Algae* 21: 463-470. (in Korean with English abstract)
- Chung, H., K.W. Cho, K.H. Chung, J.H. Kim, J. Shin, Y. Seo, J.S. Kang and I.K. Lee(1998) Ecological characteristics of algal whitening in coastal zone of Seogwipo Area, Cheju Island. *Algae* 13: 361-374. (in Korean with English abstract)
- Dring, M.J.(1982) The biology of marine plants. Adward Arnold, Great Britain.
- Feldmann, J.(1937) Recherches sur la vegetation marine de la Mediterranee. La cote des Alberes. *Rev. Algol.* 10: 1-339.
- Hoegh-Guldberg, O. and J.F. Bruno(2010) The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science* 328: 1523-1528.
- Jung, S.W., B.H. Jeon and C.G. Choi(2019) Characteristics of summer marine algal community and barren ground in the southern coast of Jeju, Korea. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf.* 25: 212-219. (in Korean with English abstract)
- Kang, G.S., Y.D. Ko and Y.S. Kim(2015) Flora and Community Structure of Subtidal Zone in South Jeju, Korea. *J. Kor. Soc. Fish. Mar. Edu.* 27: 273-283. (in Korean with English abstract)
- Kang, J.C.(2011) Seasonal variation of macroalgal community structure and biomass at Udo, Jeju Island, Korea. Ph.D. dissertation, Jeju Univ., Jeju Island, 26pp. (in Korean with English abstract)
- Kang, J.C., H.G. Choi and M.S. Kim(2011) Macroalgal species composition and seasonal variation in biomass on Udo, Jeju Island, Korea. *Algae* 26: 333-342.
- Kim, B.Y., H.G. Choi and J.C. Ko(2019) Growth and Maturation of Natural Population of *Meristotheca papulosa* in Jeju Island. *Korean J. Fish Aquat. Sci.* 52: 59-66. (in Korean with English abstract)
- Kim, B.Y., J.C. Ko, H.J. Ko, S.E. Park, H.K. Cha and H.G. Choi(2013) Seasonal variation in community structure of subtidal seaweeds in Jeju Island, Korea. *Korean J. Fish Aquat. Sci.* 46: 607-618. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.G.(2002) Vegetational Characteristics of barren grounds on the eastern coast of Korea. APPF Joint Conference, 34pp. (in Korean with English abstract)
- Kim, I.O. and H.K. Rho(1994) A study China coastal water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island. *J. Korean Soc. Fish. Ocean Technol.* 27: 515-528. (in Korean with English abstract)
- Ko, J.C., J.T. Kim, S.H. Kim and H.K. Rho(2003) Fluctuation characteristic of temperature and salinity in coastal waters around Jeju Island. *Korean J. Fish Aquat. Sci.* 36(3): 306-316. (in Korean with English abstract)
- Kohler, K.E. and S.M. Gill(2006) Coral Point Count with Excel extensions(CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Comput. Geosci.* 32: 1259-1269.
- Lee, Y.J., Y.M. Song and J.H. Yoon(2011) An exploratory research on the Jeju tourism adaptation strategies according to the climatic change: Focused on serious leisure, specialization theory and locus of control. *Int. J. Tour. Hosp. Res.* 25: 313-328.
- Littler, M.M. and D.S. Littler(1984) Relationships between macroalgal functional form groups and substrate stability in a subtropical rocky intertidal system. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 74: 13-34.
- Ludwig, J.A. and J.F. Reynolds(1988) Statistical Ecology. John Wiley & Sons, pp.1-329.
- Margalef, R.(1958) Information theory in biology. *General Systems*

- Year Book 3: 36-71.
- Orfanidis, S., P. Panayotidis and K.I. Ugland(2011) Ecological evaluation index continuous formula (EEI-c) application: A step forward for functional groups, the formula and reference condition values. *Mediterr. Mar. Sci.* 12: 199-231.
- Orfanidis, S., P. Panayotidis and N. Stamatis(2001) Ecological evaluation of transitional and coastal waters: A marine benthic macrophytes based model. *Mediterr. Mar. Sci.* 2: 45-65.
- Orfanidis, S., P. Panayotidis and N. Stamatis(2003) An insight to the ecological evaluation index (EEI). *Ecol. Indic.* 3: 27-33.
- Park, S.H., Y.P. Lee, Y.H. Kim and I.L. Lee(1994) Qualitative and quantitative analyses of intertidal benthic algal community in Cheju Island 1. Species composition and distributional patterns. *Algae* 9: 193-203. (in Korean with English abstract)
- Pielou, E.C.(1977) *Mathematical ecology* (No. 574.50151 P613 1977). Wiley.
- Saito, Y. and S. Atobe (1970) Phytosociological study of intertidal marine algae. 1. Usujiri Benten-Jima, Hokkaido. *Bull. Fish. Sci. Hokkaido Univ.* 21: 37-67.
- Segawa, S.(1956) *Colored illustrations of the seaweeds of Japan*. Osaka, Pub. Co., LTD, Osaka, Japan.
- Serisawa, Y., Y. Yokohama, Y. Aruga and J. Tanaka(2004) Dark respiration of the stipe of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) in relation to temperature. *Phycological Res.* 52: 174-179.
- Shannon, C.E. and W. Wiener(1963) *The mathematical theory of Communication University*. Urbana: Illinois Press.
- Shin, J.I., H.G. Cho, S.H. Kim, I.H. Choi and K.K. Jung(2015) Water column correction of airborne hyperspectral image for benthic cover type classification of coastal area. *Spat. Inf. Res.* 23: 31-38. (in Korean with English abstract)
- Simpson, E.H.(1949) Measurement of diversity. *Nature* 163: 688-688.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller(2007) IPCC fourth assessment report (AR4). *Climate Change*, 374pp.
- Takao, S., N.H. Kumagai, H. Yamano, M. Fujii and Y. Yamanaka (2015) Projecting the impacts of rising seawater temperatures on the distribution of seaweeds around Japan under multiple climate change scenarios. *Evol. Ecol.* 5: 213-223.
- Thomas, T.R., D.P. Kavlekar and P.A. LokaBharathi(2010) Marine drugs from sponge-microbe association-A review. *Mar. Drugs.* 8: 1417-1468.
- Webster, N.S., A.P. Negri, M.M. Munro and C.N. Battershill(2004) Diverse microbial communities inhabit Antarctic sponges. *Environ. Microbiol.* 6: 288-300.
- Yang, M.H., T.S. Moon, J.T. Yu, J.C. Ko and D.S. Chang(2007) Species appearance and seasonal variation of macrobenthic invertebrate in the coastal water of Chagwi-do, Jeju-Island. *Korean J. Malacol.* 23: 235-243. (in Korean with English abstract)
- Yoo, J.S.(2003) Community dynamics of benthic marine algae in the intertidal and subtidal rocky shore of Samyang, Jeju island. *Algae* 18: 301-309.