

〈Original article〉

남해안 6개 도서의 조하대 해조류 군집구조

허진석 · 유현일 · 박은정 · 하동수*

국립수산과학원 해조류연구센터

Macroalgal Community Structure on the Subtidal of Southern Six Islands, Korea

Jin suk Heo, Hyun Il Yoo, Eun jung Park and Dong Soo Ha*

Seaweed Research Center, National Institute of Fisheries Science, Mokpo 58746, Republic of Korea

Abstract - The macroalgal community structure was examined at the subtidal zones of six study sites, on the Southern coast of Korea from between May and August 2015. A total of 132 seaweeds, comprising 10 green, 28 brown and 94 red Seaweed, were identified. The seaweed biomass was 80.32 g dry wt. m⁻² in average, and it was maximal at Geomundo (166.94 g dry wt. m⁻²) and minimal at Byeongpungdo (14.52 g dry wt. m⁻²). On the basis of the biomass, the *Ecklonia cava* was a representative species, distributed widely in the subtidal zone of the three islands (Yeoseodo, Geomundo, Baekdo). Also, the *Sargassum* sp. was dominant at Sejongdo and Hongdo. The turbidity and light transmittance was divided into two groups. The seaweed community structure of group A (Byeongpungdo, Sejongdo, Geomundo) was characterized by high turbidity, low light transmittance and a lower habitat depth than were observed in group B (Hongdo, Baekdo, Yeoseodo). As the water depth increased, the biomass decreased due to the lowered light transmittance. In Byeongpungdo and Sejongdo, which showed high turbidity and low light transmittance, the degree of seaweed coverage was decreased with the depth of water. The ESGII ratio of the Ecological Status Group was higher than forty percentage in Byeongpungdo and Baekdo. Community indices were as follows: dominance index (DI) 0.35-0.90, richness index (R) 7.03-17.93, evenness index (J') 0.22-0.60, and diversity index (H') 0.79-2.18. The Macroalgal zonation of the subtidal zone was calculated by the *Ecklonia cava* and Brown algal population on five islands (Byeongpungdo, Yeoseodo, Geomundo, Beakdo, Hongdo). On the other hand, *Undaria pinnatifida* and *Sargassum* sp. dominated at Sejongdo. Additionally, the biomass ratio and the species richness of green algae was lower in group A. These differences in the seaweed community structure may have resulted from the effects of turbidity and light transmittance.

Keywords : macroalgal, turbidity and light transmittance, community structure, Southern Islands

서 론

해조류는 연안생태계에서 광합성을 통하여 유용한 산소를

만들어내고 해수 내 영양염을 흡수하는 일차 생산자로서, 어류 및 무척추동물물을 포함한 다양한 해양생물의 은신처, 산란장으로서 생물다양성과 생산성을 증대하는 데 중요한 기능을 수행한다(Terawaki *et al.* 2001; Linstrom 2009; Wan *et al.* 2009; Satheesh and Wesley 2012).

* Corresponding author: Dong Soo Ha, Tel. 061-280-4790, Fax. 061-285-1949, E-mail. dsha@korea.kr

해조류는 암반에 부착하여 서식하기 때문에 이동성이 없어 서식지의 환경변화를 가장 빨리 파악할 수 있으며, 교란(turbulence), 퇴적(sedimentation) 및 생활폐기물과 같은 환경적 스트레스가 증가되면 해조류의 종 다양성, 생물량 및 피도는 감소한다(Arévalo *et al.* 2007). 이러한 특징은 서식지 환경변화를 분석할 수 있는 지표생물(Indicator organism)로서 활용될 수 있다(Orfañidis *et al.* 2001; Wells *et al.* 2007; Scherner *et al.* 2013).

해조류의 초기생활사 단계에서 광질과 광량은 포자의 발아와 배아의 생존 및 성장에 영향을 미친다(Vadas *et al.* 1992; Morita *et al.* 2003). 특히, 퇴적물(sediments)에 의한 광량 감소는 기질에 부착된 포자(혹은 배아)의 발아 및 생존률을 감소시켜(Arakawa and Matsuike 1992), 해조류의 분포를 결정하는 요인으로 작용한다(Kain 1987).

Kenneth *et al.* (2004)은 연안에서 부유고형물(탁도)이 광투과(조도)의 연간 변화에 미치는 영향은 74~79%이며 깊이가 깊어질수록 95%까지 증가한다고 보고하였다. 탁도에 의한 광 투과율 변화는 조하대에 서식하는 해조류의 광합성과 성장에 영향을 미침으로써 해조류의 분포 수심을 결정짓는 요소로 작용한다(Kim *et al.* 1995, 2010; Fujita 2010). 예를 들어, 갈조류 감태는 제주도에서 수심 약 30 m까지 분포하며, 동해안에서는 수심 10~15 m 범위에서 서식하는 반면 남해안에서는 수심 2~5 m 범위에서만 서식하여 탁도와 광투과율에 따른 서식수심에 제한을 갖는 것으로 보고되었다(NFRDI 2007). 우리나라의 동해안의 저질은 암반과 모래로 구성되어있으나, 남해안은 펄, 갯벌로 이루어져 해양환경 특성상 지역별, 수심별 탁도가 달라 투과되는 유효광량의 차이가 클 것으로 예상된다.

우리나라의 해조류 연구는 일본인 해조학자 Okamura (1892)에 의해 “부산포의 해조류(On the marine algae of Fusanpo)”에 대한 연구가 처음으로 이루어졌으며, Kang (1966)은 우리나라 해조류의 지리적 분포와 분류에 관하여 보고하였다. 우리나라 남해안은 연안의 굴곡이 심하고 다수의 섬들로 구성되어 해류, 수온, 수심, 탁도 등 매우 복잡한 해양특성을 보이며(Kang 1966; Choi 1992), 해역별로 독특한 해조류 식생이 발달하는 것으로 알려져 있다(Sohn 1987). 남해안 해조류의 생태학적 연구는 해조상(Song *et al.* 1970; Kang and Lee 1979; Oh *et al.* 2002; Choi 2008a), 생물량(Choi 2008a; Kim *et al.* 2008)과 수직분포(Hwang *et al.* 1997; Choi 2008b; Kwak and Huh 2009)에 관한 많은 연구가 수행된 바 있다. 그러나 이들 대부분이 조간대를 대상으로 이루어졌으며 조하대를 대상으로 한 연구는 대부분이 접근과 조사환경이 상대적으로 편리한 동해에서 이루어져(Kang *et al.* 2008; Choi *et al.* 2010; Yoo *et al.* 2013; Choi

and Choi 2014; Kim *et al.* 2014; Shin *et al.* 2014), 남해안의 조하대 해조류의 생태에 대한 연구는 매우 빈약한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 남해안 6개 도서에서 탁도 및 유효광량이 해조류 군집구조에 미치는 영향을 분석하고, 물리환경 변화에 따른 해조류의 종다양성, 자원량 등을 예측하기 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

재료 및 방법

해조류 채집 및 해양환경 조사는 남해안 6개 도서(병풍도, 여서도, 거문도, 백도, 세존도, 홍도)에서 2015년 5월부터 8월 까지 2회씩 SCUBA diving에 의해 실시되었다(Fig. 1). 해양환경조사는 각 정점마다 동서남북 4개 지점에서 표층과 저층의 수온, 탁도(NTU) 및 유효광량(PAR; Photosynthetically Active Radiation)은 SBE 9 Plus (Sea-Bird Electronics) CTD를 이용하여 현장에서 측정하였다. 측정된 수온, 탁도 및 유효광량의 값은 CTD제조사에서 제공되는 프로그램(SBE 2008)을 이용하여 CTD 후처리 과정을 거쳐 구하였다.

각 정점의 조하대 수심 5, 10, 20 m에 각각 2개의 방형구(50 cm × 50 cm)를 무작위적으로 놓고 방형구 내에 존재하는 해조류를 전량 채집하였으며, 해조상을 파악하기 위하여 5~20 m에서 서식하는 모든 해조류를 정성 채집하였다. 수심에 따른 해조류의 수직분포를 확인하고자 수중카메라(Nikons D800)를 이용하여 2 m 간격으로 사진촬영하고 Image J 프로그램으로 피도를 측정하였다. 채집된 해조류는 포르말린-해수 용액(5~10%)으로 현장에서 고정시켜 실험

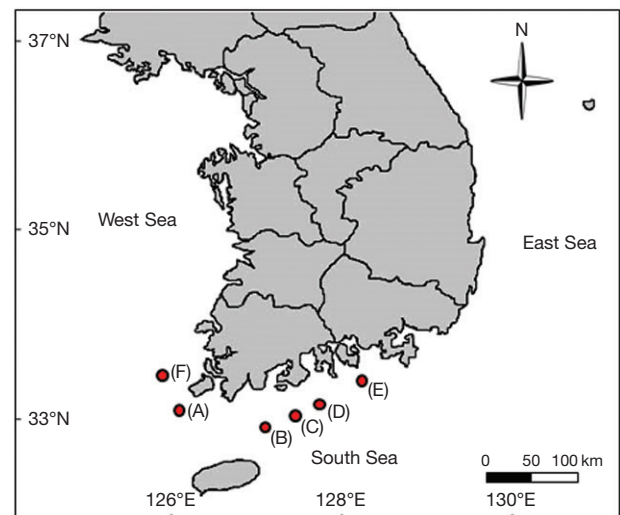


Fig. 1. A map of study sites and in Southern coast of Korea. A, Byeongpungdo; B, Yeoseodo; C, Geomundo; D, Beakdo; E, Sejongdo; F, Hongdo.

Table 1. Depending on the depth of temperature, NTU and PAR at six study sites in the Southern coast of Korea

Site	Temperature (°C)				Turbidity (NTU ¹)				PAR ² ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			
	5 m	10 m	15 m	20 m	5 m	10 m	15 m	20 m	5 m	10 m	15 m	20 m
BPD ³	21.08	20.89	20.41	19.20	1.30	1.68	2.03	2.94	369.30	92.47	23.25	6.37
YSD ⁴	23.53	23.22	22.97	22.68	0.17	0.21	0.21	0.20	461.20	176.80	91.12	47.18
GMD ⁵	16.40	15.08	14.34	14.11	0.18	0.25	0.36	0.41	132.60	59.72	21.60	8.18
BD ⁶	16.09	15.28	14.70	14.48	0.11	0.11	0.15	0.16	601.80	349.70	205.80	110.80
SJD ⁷	16.54	15.84	15.28	14.89	0.21	0.24	0.45	0.86	157.60	54.20	20.16	7.85
HD ⁸	16.65	15.85	14.60	14.22	0.13	0.17	0.20	0.27	1239.00	579.90	271.70	129.70

¹Nephelometric Turbidity Unit, ²Photosynthetically Active Radiation, ³Byeongpungdo, ⁴Yeoseodo, ⁵Geomundo, ⁶Baekdo, ⁷Sejondo, ⁸Hongdo

Table 2. The number of macroalgal species observed at the Southern coast of Korea

Taxon	Byeongpungdo	Yeoseodo	Geomundo	Baekdo	Sejondo	Hongdo	Total
Chlorophyta	1	4	2	2	1	3	10
Phaeophyta	2	10	17	9	10	23	28
Rhodophyta	24	23	44	34	27	51	94
Total	27	37	63	45	38	77	132

실로 운반한 후 현미경을 사용하여 분류 및 동정하였으며, 출현종 목록 및 국명은 국가 생물종 목록집(Kim *et al.* 2013)에 따랐다. 정량 채집된 해조류는 담수로 수회 세척하여 모래와 불순물을 제거 후 종별로 구분하여 105°C로 설정된 건조기에서 24 h 동안 건조시켜 건조량을 측정하였고, 단위면적당 생물량(g dry wt. m^{-2})으로 환산하였다.

정점별 출현종과 생물량 자료를 이용하여 풍부도지수(richness index; R), 다양도지수(diversity index; H')와 균등도지수(evenness index; E)를 계산하였다(Margalef 1958; Fowler and Cohen 1990). 우점도지수(dominance index; DI)는 군집 내에서의 생물량 순서에 따라 제1, 2우점종을 선택하고 2종의 생물량 합에 대한 총 생물량의 비율로 산출하였다(McNaughton 1967; Lee *et al.* 1983).

해조류의 기능형은 출현종의 외부형태, 내부구조, 광합성 효율 등에 따라 엽상형, 사상형, 성긴분기형, 다육질형, 유절산호말형, 각상형의 6개 그룹으로 구분하고(Littler and Littler 1984) 이를 생태학적 상태그룹(ecological status group; ESG) I과 II로 구분하였다(Orfañidis *et al.* 2003; Arévalo *et al.* 2007). 기능형군의 비율과 환경상태와의 상관관계를 파악하였다.

해조류 출현종의 생물량으로 정점 간 유사도를 분석하였으며, 그룹 간 유의차는 SIMPROF(similarity profile) test로 검정하였다. 또한, 그룹 간 유의차가 확인되면 SIMPER(similarity percentage) 분석을 실시하여 각 그룹 간 비유사도(dissimilarity)에 기여하는 종을 확인하였다. 군집분석은 PRIMER version 6(Clarke and Gorley 2006)를 이용하여 산출 및 도식화 하였다.

결 과

1. 해양환경특성

연구기간 동안 남해안 6개 도서의 평균 수온은 17.43°C로 거문도에서 14.98°C로 최저였으며, 여서도에서 23.10°C로 최고였다. 지역에 따라 수온은 남해 서부에서 최소 그리고 남해 동부로 갈수록 수온이 증가함을 보였다. 탁도는 평균 0.54 NTU였으며, 병풍도에서 1.99 NTU로 탁도가 가장 높았고, 백도(0.13 NTU)와 홍도(0.19 NTU)에서 탁도가 낮았다. 유효광량인 PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 값은 평균 217.42 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 였으며, 지역별로 홍도에서 평균 555.08 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로서 유효광량이 가장 높았으며, 거문도에서 PAR 값이 55.53 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 로 가장 낮았다(Table 1).

2. 종조성

연구기간 동안 남해안 6개 도서에서 출현한 해조류는 총 132종(녹조류 10종, 갈조류 28종, 홍조류 94종)으로, 정점별 출현종수는 병풍도에서 27종으로 가장 적었고 홍도에서 77종으로 가장 많았다(Table 2). 모든 정점에서 출현한 해조류는 참곱슬이 1종이었으며, 5개 정점에서 출현한 해조류는 참가죽그물바탕말(*Dictyota coriacea*), 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 고리마디게발(*Amphiroa beauvoisii*), 참화살깃산호말(*Alatocladia modesta*), 낭과쩍(*Synarthrophyton chejuensis*), 돌가사리(*Chondracanthus tenellus*), 좁은붉은잎(*Callophyllis adnata*), 엇가지풀(*Heterosiphonia pulchra*)이었다. 해조류 출현 유·무를 근거로 하여 6개 정점의 유사도

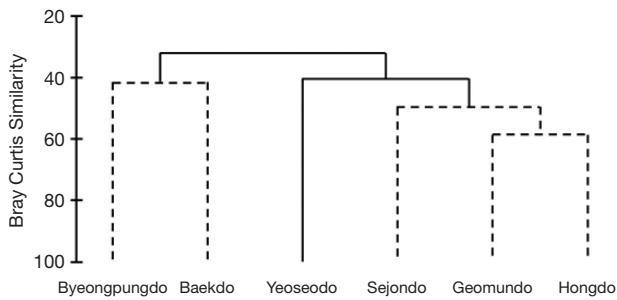


Fig. 2. Results of cluster analysis performed on Bray-Curtis similarity from a standard species presence/absence transformed data. The dotted lines indicate no significant differences among the study sites (SIMPROF test).

를 분석하여 보면, 그룹 A(병풍도, 백도), 그룹 B(여서도), 그룹 C(세존도, 거문도, 홍도)로 구분되었다(Fig. 2). 그룹 간 차이는 그룹 A와 그룹 B은 31.95%, 그룹 B와 그룹 C는 40.40%의 통계적 유의차를 보였다(SIMPROF test, $p < 0.05$). 그룹 A와 B를 구분하는 데 기여도가 높은 종은 갈색대마디말(*Cladophora wrightiana*), 깃털말류(*Bryopsis* sp.), 떡청각(*Codium arabicum*), 두켜부채(*Distromium decumbens*), 참가죽그물바탕말로 확인되었다. 그룹 B와 C를 구분하는 종은 깃털말류, 옥덩굴(*Caulerpa okamurae*), 떡청각(*C. arabicum*), 개그물바탕말(*Rugulopteryx okamurae*), 참가죽그물바탕말(*D. coriacea*)로 확인되었다(SIMPER test).

3. 생물량 및 우점종

6개 도서 조하대에 서식하는 해조류의 평균 생물량은 80.32 g dry wt. m^{-2} 이었고, 병풍도에서 14.52 g dry wt. m^{-2} 로 최소, 거문도에서 166.94 g dry wt. m^{-2} 로 최대였다. 수심별 생물량은 5 m에서 31.09~303.88 g dry wt. m^{-2} 로 병풍도에서 최소, 거문도에서 최대로 확인되었다. 수심 10 m에서는 1.84~196.94 g dry wt. m^{-2} 로 세존도에서 가장 낮았고 여서도에서 가장 높은 값을 보였으며, 수심 20 m의 경우 거문도(6.24 g dry wt. m^{-2}), 홍도(14.81 g dry wt. m^{-2})에서만 생물량이 측정되었다(Fig. 3).

해조류의 연평균 생물량의 구성비를 근거로 한 우점종(30% 이상)과 준우점종(10~30%)을 살펴보면, 병풍도는 참곱슬이(43.56%, 6.32 g dry wt. m^{-2}), 주름붉은잎(39.54%, 5.74 g dry wt. m^{-2})이 우점종이었다. 여서도에서는 감태(35.62%, 59.47 g dry wt. m^{-2})가 우점종, 참화살깃산호말(15.77%, 26.33 g dry wt. m^{-2})이 준우점종이었으며, 거문도에서는 우점종 없이 감태(24.76%, 79.09 g dry wt. m^{-2}), 고리마디게발(10.78%, 34.42 g dry wt. m^{-2}) 그리고 외톨개모자반(10.13%, 32.35 g dry wt. m^{-2})이 준우점종이었다. 백도에서

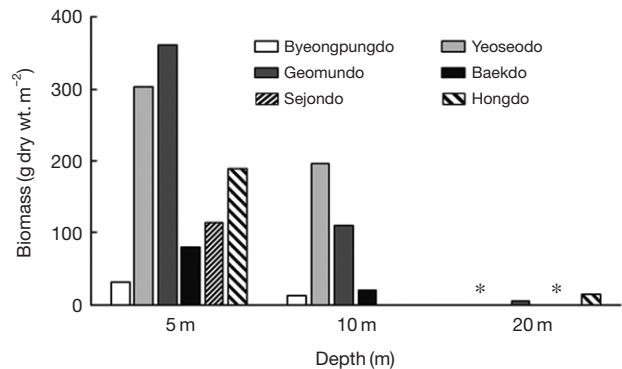


Fig. 3. Biomass (g dry wt. m^{-2}) in different depth at six study sites in Korea from May to August 2015. *No observation.

도 감태(39.31%, 13.17 g dry wt. m^{-2})가 우점하였으며, 새발(10.47%, 3.51 g dry wt. m^{-2})이 준우점종으로 출현하였다. 세존도에서는 팽생이모자반(83.05%, 32.02 g dry wt. m^{-2})이 우점하였고, 홍도는 쌍발이모자반(43.47%, 29.87 g dry wt. m^{-2})이 우점종으로 큰잎모자반(13.73%, 9.43 g dry wt. m^{-2})이 준우점종으로 분포하였다(Table 3).

4. 기능형군

본 연구의 6개 도서에서 출현한 해조류를 기능형별 구분해보면, 엽상형은 3~11종으로 여서도에서 최소, 거문도에서 최대를 보였고, 사상형은 3~19종으로 여서도에서 최소, 홍도에서 최대를 보였다. 성긴분기형은 7~32종으로 병풍도에서 최소였고 홍도에서 최대였다. 다육질형은 0~4종으로 병풍도에서 다육질형은 발견되지 않았으며, 홍도에서 가장 많은 종이 출현하였다. 유절산호말형은 0~11종으로 병풍도에서 최소, 홍도에서 최대였고, 각상형은 병풍도에서 1종으로 최소, 거문도와 홍도에서 4종으로 최대를 보였다. 또한, 생태그룹 ESGII의 출현종 비율을 살펴보면, 여서도에서 16.22%로 최소였고 병풍도에서 70.37%로 가장 높은 비율을 보였다(Fig. 4).

5. 수직분포

해조류 피도에 의한 우점종의 수직분포는 병풍도에서 우뚝가사리(*Gelidium elegans*)가 수심 6 m까지 우점하였으며, 여서도는 전 수심에서 감태(*Ecklonia cava*) 및 석회조류가 우점하였다. 거문도는 감태와 무절석회조류가 우점하였으며, 수심 6 m에서 전체 해조류의 피도가 100%였다. 백도는 수심 4 m에서 10 m까지 해조류가 관찰되었으며, 수심이 증가할수록 감태의 피도가 증가하였다. 세존도는 수심 4~6 m에서는 미역(*Undaria pinnatifida*)이 우점하였으며, 수심

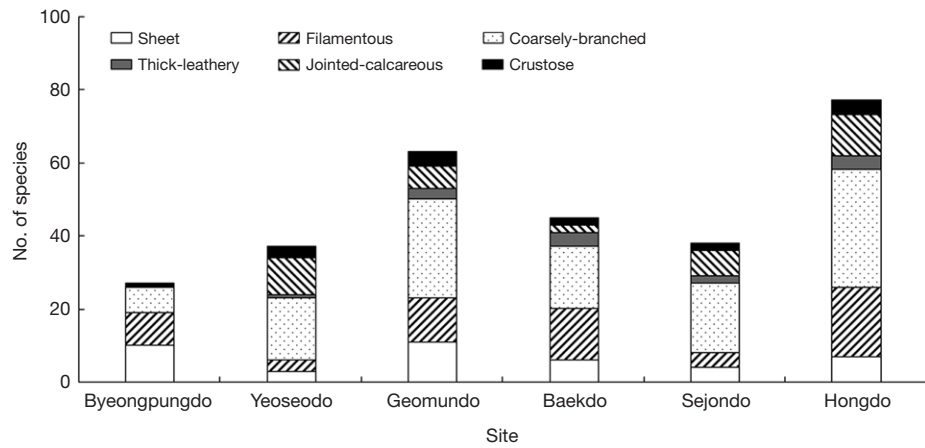


Fig. 4. Total species number of seaweed functional form group collected at the six study sites of the Southern coast of Korea.

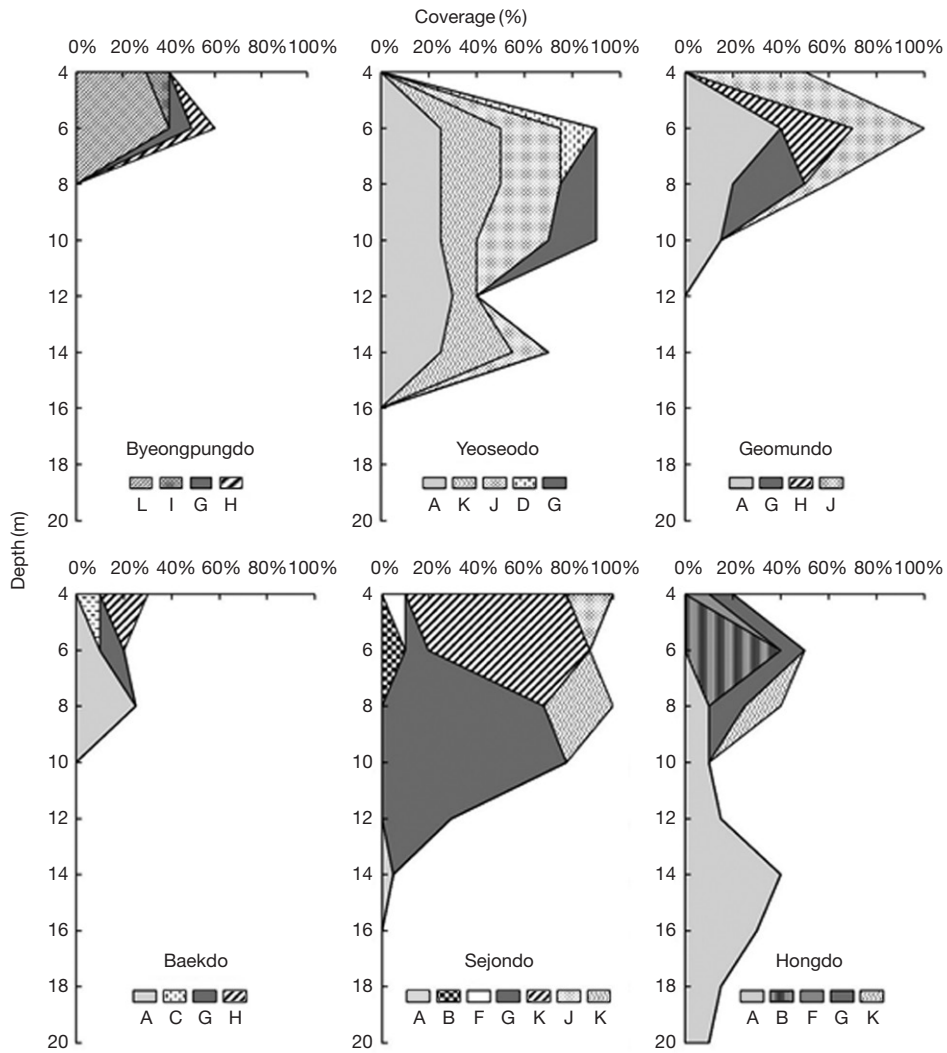


Fig. 5. General vertical distribution of marine algae investigated in Southern coast of Korea. Species coverage >5%, A, *Ecklonia cava*; B, *Plocamium* sp.; C, *Dictyopteris* sp.; D, *Cladophora* sp.; E, *Pachymeniopsis elliptica*; F, *Chondracanthus tenellus*; G, *Sargassum* sp.; H, *Undaria pinnatifida*; I, *Dictyota* sp.; J, *Corallina* sp.; K, *Hildenbrandia* sp.; L, *Gelidium elegans*.

8~14 m에서는 모자반류 (*Sargassum* sp.)가 우점하였다. 홍도에서는 곱슬이류 (*Plocamium* sp.)가 수심 6 m까지 우점하였으며, 감태는 수심 8 m에서 발견되어 수심 20 m까지 우점하여 나타났다 (Fig. 5).

6. 균집지수

해조류 생물량과 출현종수로 계산된 균집지수를 살펴보면, 남해안 6개 도서의 우점도지수 (DI)는 0.61였고 거문도에서 0.51로 최소, 세존도에서 0.90으로 가장 높았다. 풍부도지수 (R)는 평균 11.58로 나타났으며 여서도 (7.03)에서 최소였고 홍도 (17.93)에서 최대였다. 출현종수와 생물량에 따라 변화하는 균등도지수 (J')는 정점별 평균 0.47을 보였으며 세존도에서 0.22로 최소였고 백도에서 0.60으로 최대를 보였다. 출현종수와 종 간의 풍부도 데이터 (생물량)의 분포인 균등도지수에 의해 결정되는 다양도지수 (H')는 세존도 (0.79)에서 최소, 백도 (2.30)에서 최대값을 나타냈다 (Table 4).

고 찰

해조류의 출현종수는 지역별, 조사방법 및 시기에 따라 큰 변이를 나타낸다 (Oh *et al.* 2002; Kim *et al.* 2008). 본 연구의 6개 도서에서 출현한 해조류는 총 132종 (녹조 10종, 갈

조 28종, 홍조 94종)으로, 정점별로는 27~77종이 출현하였다. Kang and Kim (2004)은 본 연구지역 인근의 금오열도 (금오도, 안도, 소리도)의 5개 해조류 서식지에서 총 36종 해조류의 출현을 보고하여 본 연구의 27.27% 수준의 출현종수를 보였다. 또한, 거제 지세포에서는 59종 (Choi *et al.* 2009)이 출현하여 본 연구의 44.70% 수준의 출현종수를 나타내 본 연구에서 비교적 해조류 식생이 풍부하였다. 이러한 출현종수의 차이는 본 연구가 선행연구에 비해 외해에 위치해 있으며 정점 간 거리가 멀기 때문으로 판단된다.

해조류는 포자의 발아와 배아의 생존에 있어 광질과 광량의 영향으로 (Vadas *et al.* 1992; Morita *et al.* 2003) 수직분포가 결정된다 (Kain 1987). 또한 연안의 광투과 (조도)는 탁도의 영향을 받아 수심이 깊을수록 감소하는 것으로 알려져 있다 (Kenneth *et al.* 2004). 본 연구에서 6개 도서의 조하대 해조류 수심에 따른 평균 생물량은 3.51~180.03 g dry wt. m⁻² 범위로 수심 증가에 따라 급격하게 감소하였으며, 수심별 탁도의 증가에 따른 유효광량의 감소가 확인되었다 (Kenneth *et al.* 2004).

또한 각 정점을 탁도와 유효광량에 의해 구분하면, 탁도가 높고 (0.30~1.99 NTU) 유효광량이 낮은 (55.53~122.85 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 그룹 A (병풍도, 세존도, 거문도)와, 탁도가 낮고 (0.13~0.20 NTU) 유효광량이 높은 (194.08~555.08 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 그룹 B (홍도, 백도, 여서도)로 구분되었다. 그룹 A의 병풍도 (1.99 NTU, 122.85 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)와 거문도 (0.30 NTU, 55.53 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)는 높은 탁도로 인하여 수심 10 m 이상에서 우점종 (우뭇가사리, 감태)의 피도가 20% 이하였으며 그룹 B의 여서도 (0.20 NTU, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)와 홍도 (0.19 NTU, 555.08 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)에서는 낮은 탁도, 높은 광투과율로 수심 15 m 이상에서도 감태가 높은 피도로 나타났다. Kang *et al.* (1993)은 여서도, 홍도 해역에서 감태 (*E. cava*)가 해중립을 이루고 있으며, 이러한 대형갈조류 (Kelp)들은 탁도와 광투과율에 의해 서식하는 조위가 결정되고 이들을 중심으로 식생구조가 이루어진다고 하였다. 세존도 (0.44 NTU, 59.95 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)에서는 높은 탁도와 낮은 광투과율에도 불구하고 수심 14 m까지 모자반류가 높은 피도를 보였다. 이와 같은 차이는 모자반 특성상 기낭을 이용하여 직립함으로써 충분한 수광량을 확보할 수 있기 때문으로 판단된다.

Table 3. Dominant ($\geq 30\%$) and subdominant (10~30%) species in terms of average biomass percentage (%) at six study sites on the Southern coast of Korea

Site	Dominant and subdominant species (%)
Byeongpungdo	<i>Plocamium telfairiae</i> (43.56), <i>Callophyllis crispata</i> (39.54)
Yeoseodo	<i>Ecklonia cava</i> (35.62), <i>Alatocladia modesta</i> (15.77)
Geomundo	<i>Ecklonia cava</i> (24.76), <i>Amphiroa beauvoisii</i> (10.78), <i>Myagropsis myagroides</i> (10.13)
Baekdo	<i>Ecklonia cava</i> (39.31), <i>Acanthopeltis japonica</i> (10.47)
Sejondo	<i>Sargassum horneri</i> (83.05)
Hongdo	<i>Sargassum patens</i> (43.47), <i>Sargassum coreanum</i> (13.73)

Table 4. Average biomass (g dry wt. m⁻²) and various community indices of seaweeds at the six study sites on the Southern coast of Korea

Community indices	Byeongpungdo	Yeoseodo	Geomundo	Baekdo	Sejondo	Hongdo
Biomass (g m ⁻²)	14.52	166.94	159.71	33.49	38.55	68.71
Dominance index (DI)	0.83	0.51	0.35	0.49	0.90	0.57
Richness index (R)	9.68	7.03	12.21	12.51	10.11	17.93
Evenness index (J')	0.42	0.59	0.53	0.60	0.22	0.49
Diversity index (H')	1.39	2.11	2.18	2.30	0.79	2.14

해조류의 종조성 및 군집구조와 환경과의 관계를 이해하기 위해 해조류를 기능형에 따라 구분하여 비교하는 다양한 시도가 이루어졌다(Littler and Littler 1984; Orfanidis *et al.* 2001; Wells *et al.* 2010). Orfanidis *et al.* (2001)은 6개 기능형군을 안정된 해역에서 서식하는 생태학적 상태그룹(ecological status group) ESG I(다육질형, 유질산호말형, 각상형)과 교란 해역에서 우점하는 ESG II(성긴분기형, 엽상형, 사상형)로 구분하여 해역으로 오염 정도를 판정하였다. 우리나라의 생태학적 상태그룹에 대한 조사에서 ESG II의 비율은 태안 학암포에서 34.65% (Heo *et al.* 2015), 고군산군도 44.8% (Kim *et al.* 2011), 진도 금갑 32.14% (Yoo *et al.* 2015) 고흥군 4개 도서에서 33.96% (Song *et al.* 2011)로 나타났다. 본 연구에서는 ESGII의 비율이 병풍도에서 70.37%, 백도에서 44.44%로 높게 보였으며, 그 외 4개 정점에서는 40% 이하(여서도 16.22%, 거문도 36.51%, 세존도 21.05%, 흥도 33.77%)로 나타나 본 연구의 4개 정점은 아직까지 해조류의 식식에 안정된 환경을 유지하는 것으로 판단된다. 그러나 병풍도의 경우 높은 탁도로 인한 낮은 광 투과율에 의해 교란된 해역에서 증가하는 해조류의 피도가 높게 나타난 것으로 보여지며, 백도의 경우 높은 광 투과율에도 불구하고 주변에서의 참다랑어 양식, 낚시와 같은 인위적인 간섭에 의해 ESGII의 비율이 증가된 것으로 판단된다.

군집의 종수와 생물량 또는 피도의 상대적 균형에 의한 군집구조의 복잡성을 의미하는 종다양도(H')는 정량자료를 이용하여 산출됨으로써 주관적인 오류가 없는 군집 평가 방법으로 군집의 안정도 및 서식지의 환경 상태의 평가에 이용된다(Park *et al.* 2006; Lee *et al.* 2007; Kang *et al.* 2008; Choi and Rho 2010). Park *et al.* (2006)은 다양도지수가 2.0~3.0일 경우 군집 안정도는 불안정하지만 환경상태는 다소 양호, 1.0~2.0일 경우 군집 안정도와 환경상태가 불안정한 것으로 평가하였다. 종다양도를 이용하여 본 연구의 6개 정점의 환경상태를 평가하면, 병풍도와 세존도를 제외한 4개 정점의 다양도지수가 2.00 이상으로 군집의 안정도와 환경상태는 모두 보통으로 판정되며, 병풍도(1.39)와 세존도(0.79)의 군집 안정도는 각각 불안정과, 매우 불안정이었고 환경상태 나쁨과 매우 나쁨으로 판정되었다.

결론적으로, 본 연구가 수행된 남해안 6개 도서에서 서식하는 해조류는 총 132종이었는데 이는 본 연구의 경우 각 정점별 거리가 멀고 서식환경이 상이하여 선행연구들보다 높은 출현종수를 보인 것으로 판단된다. 해조류 평균 생물량과 피도, 생태학적 상태그룹, 군집지수 분석 모두 탁도와 광 투과율에 따른 영향을 보였는데, 수심이 증가함에 따라 낮아지는 광 투과율로 생물량이 감소되었고, 높은 탁도와 낮은 광 투과율을 보인 정점인 병풍도, 세존도에서는 수심에 따라

피도의 감소가 확인되었다. 또한, 생태학적 상태그룹(EGS)과 다양도지수(H')에 의해 병풍도의 환경상태는 나쁨으로 군집 안정도는 불안정한 것으로 판단되었다. 따라서 탁도 및 광 투과율은 조하대 해조류 군집구조 변화에 영향이 미치는 요소로 작용한 것으로 보여진다. 그러나 이러한 군집구조의 변화가 탁도 및 광 투과율의 영향이라 단정하기에는 다소 무리가 있다. 따라서, 향후 물리환경의 변화와 해조류 군집 간 상호관계를 확인하기 위해서는 체계적이고 보다 많은 연구자료의 축적이 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 2017년도 국립수산물과학원의 연구비 지원(R 2017014)으로 수행된 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Arakawa H and K Matsuike. 1992. Influence on insertion of zoospores, germination, survival, and maturation of gametophytes of brown algae exerted by sediments. *Nippon Suisan Gakk* 58:619-625.
- Arévalo R, S Pinedo and E Ballesteros. 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.
- Choi CG. 2008a. Algal flora in Hallyeo-haesang national park southern coast of Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* 41:371-380.
- Choi CG and HS Rho. 2010. Marine algal community of Ulsan, on the eastern coast of Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 246-253.
- Choi CG, SJ Oh and IJ Kang. 2009. Subtidal marine algal community of Jisepo in Geoje, Korea. *J. Fac. Agr. Kyushu Univ.* 54:339-345.
- Choi CG, SJ Oh and IJ Kang. 2010. A study on the community structure of subtidal marine algae in Kijang, Korea. *Kyushu Univ.* 55:39-45.
- Choi DS. 1992. On the state of marine algal resources in the west-southern coast of Korea. *Bull. Inst. Litt. Environ.* 9: 81-103.
- Choi HG. 2008b. Effects of thermal effluents from Wolseong nuclear power plant on macroalgal composition and com-

- munity structure. *Algae* 22:151–162.
- Choi JH and CG Choi. 2014. Marine algal communities around Oryukdo, Busan, Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* 47:960–972.
- Clarke KR and RN Gorley. 2006. *PRIMER V6: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E Ltd, Plymouth, UK.
- Fowler J and C Cohen. 1990. *Practical statistics for field biology*. John Wiley and Sons, New York, USA. pp. 1–227.
- Fujita D. 2010. Current status and problems of iosyake in Japan. *Bull. Fish. Res. Agen.* 32:33–42.
- Heo JS, SJ Han, HG Choi and KW Nam. 2015. A study on long-term monitoring of seaweed flora and community structure at Hakampo, western coast of Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* 48:969–976.
- Hwang EK, CS Park, NP Koh and CH Sohn. 1997. Benthic marine algal communities of Shinjido, southern coast of Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* 30:574–584.
- Kain JM. 1987. Photoperiod and temperature as triggers in the seasonality of *Delesseria sanguinea*. *Helgoländer Meeresunters* 41:355–370.
- Kang JW and JH Lee. 1979. The marine algal flora of Geoje-do area. *The Report of KACN* 14:93–101.
- Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull. Pusan Fish. Coll.* 7:1–136.
- Kang PJ, YS Kim and KW Nam. 2008. Flora and community structure of benthic marine algae in Ilkwang bay, Korea. *Algae* 23:317–326.
- Kang RS and JM Kim. 2004. Seaweed community of the subtidal rocky habitats along the coast of Geumo Archipelago in the central south sea of Korea. *Algae* 19:339–347.
- Kang RS, JG Je and CH Sohn. 1993. Summer Algal Communities in the Rocky Shore of South Sea of Korea -II. Subtidal communities-. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* 26:182–197.
- Kenneth RNA, VR Peter, RO Alan, L Piers and L Janice. 2014. Temporal variation of light availability in coastal benthic habitats: Effects of clouds, turbidity, and tides. *Limnol. Oceanogr.* 49:2201–2211.
- Kim BY, WS Kim and HG Choi. 2010. Seasonal variability of seaweed biomass along the vertical shore gradients of Nachido and Odo islands, the Yellow Sea, Korea. *Fish. Aquat. Sci.* 13:324–331
- Kim CS, YS Kim, HG Choi and KW Nam. 2014. Variations of seaweed community structure and distribution of crustose Coralline algae at Gallam, Samchuk, Eastern Coast of Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 28:10–23.
- Kim HS, SM Boo, IK Lee and CH Sohn. 2013. National list of species of Korea: marine algae. NIBR, Incheon, Korea. pp. 1–336.
- Kim JH, YD Ko, YS Kim and KW Nam. 2011. Marine algal flora and community structure of Gogunsan islands outside the Saemangeum Dike. *Korean J. Environ. Ecol.* 25:156–165.
- Kim MS, MR Kim, MH Chung, JH Kim and IK Chung. 2008. Species composition and biomass of intertidal seaweeds in Chuja island. *Algae* 23:301–310.
- Kim YH, HJ Yoon and JS Yoo. 1995. Species composition and biomass of marine algal community on the mid-Western coast of Korea. *J. Plant Biol.* 38:389–398.
- Kwak SN and SH Huh. 2009. Species composition and distributional patterns of marine benthic algae at intertidal zone in Masan bay. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf.* 15:179–185.
- Lee IK, HB Lee and SM Boo. 1983. A summer marine algal flora of islands in Jindo-gun. *Rep. Sur. Natur. Environ. Korea* 3:293–311.
- Lee GH, HI Yoo and HG Choi. 2007. Seasonal community structure and vertical distribution of medicinal seaweeds at Kkotji in Taean peninsula, Korea. *Algae* 22:209–219.
- Lindstrom SC. 2009. The biogeography of seaweeds in south east Alaska. *J. Biogeogr.* 36:401–409.
- Littler MM and DS 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.
- 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.
- Morita T, A Kurashima and M Maegawa. 2003. Temperature requirements for the growth and maturation of the gametophyte of *Undaria pinnatifida* and *U. undarioides* (Laminariales, Phaeophyceae). *Phycol. Res.* 51:154–160.
- NFRDI Report. 2007. A Study on Construction of Seaweed Forest in the East Sea, In 2007 final report on fisheries life sciences and aquaculture sciences, Yemoonsa, Busan, Korea. pp. 1–542.
- Oh BG, JW Lee and HB Lee. 2002. A summer marine benthic algal flora and community of uninhabited islands in Haenamgun, southern coast of Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* 35:57–63.
- Okamura K. 1892. On the marine algae of Fusanpo. *Bot. Mag. Tokyo* 6:117–119.
- Orfanidis S, P Panayotidis and N Stamatidis. 2001. Ecological evaluation of transitional and coastal waters: A marine benthic macrophytes-based model. *Mediterr. Mar. Sci.* 2:45–65.
- Park YK, KS Seo and CK Choi. 2006. *Environmental Biology*. Daehakseolim.

- Satheesh S and SG Wesley. 2012. Diversity and distribution of seaweeds in the Kudankulam coastal waters, south-eastern coast of India. *Biodiversity Journal* 3:79–84.
- Schermer H, PA Horta, EC de Oliveira, JC Simonassi, JM Hall-Spencer, F Chow, JMC Nunes and SMB Pereira. 2013. Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic. *Mar. Pollut. Bull.* 76:106–115.
- Shin BK, CJ Kwon, SM Lee and CG Choi. 2014. Marine algal flora and community structure of Igidea area in Busan, Korea. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf.* 20:121–129.
- Sohn CH. 1987. Phytogeographical characterization and quantitative analysis of algal communities in Korea. Ph. D. Thesis. Chonnam National Univ. Kwangju, Korea. pp. 1–111.
- Song JN, SK Park, JS Heo, BY Kim, HI Yoo and HG Choi. 2011. Summer seaweed flora and community structure of uninhabited islands in Goheung, Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* 44:524–532.
- Song SH, JS Choe and CH Sohn. 1970. Summer algal flora at Odongdo, Yeosu. *Thesis Collect. Yeosu Fish. Tech. Coll.* 4:18–28.
- Terawaki T, H Hasegawa, S Arai and M Ohno. 2001. Management-free techniques for restoration of *Eisenia* and *Ecklonia* beds along the central Pacific coast of Japan. *J. Appl. Phycol.* 13:13–17.
- Yoo JS, JM Kim and CG Choi. 2013. Changes in marine algal communities around Gijang Busan, Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* 46:303–309.
- Yoo HI, JS Heo and HG Choi. 2015. Seasonal variability of marine algal flora and community structure at Gumgap, Jindo, on the southwestern coast of Korea. *JFMSE* 27:300–307.
- Vadas RL, S Johnson and TA Norton. 1992. Recruitment and mortality of early post-settlement stages of benthic algae. *Eur. J. Phycol.* 27:331–351.
- Wan XO, HH Park, HI Yoo and HG Choi. 2009. Temporal variations in seaweed biomass and coverage in Korean coasts: Ongdo, Chungnam. *Fish. Aquat. Sci.* 12:130–137.
- Wells E, M Wilkinson, P Wood and C Scanlan. 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.
- Wells E, M Wilkinson, P Wood, C Scanlan and M Best. 2010. Water Framework Directive development of classification tools for ecological assessment: Macroalgae Species Richness. UK TAG Report for Marine Plants Task Team, January 2010, Publ. UK TAG.

Received: 15 November 2017

Revised: 5 December 2017

Revision accepted: 6 December 2017