

제주도 주변 해역 조하대 해조류 군집구조의 계절적 변동

김보연 · 고준철 · 고혁준 · 박성은 · 차형기 · 최한길^{1*}

국립수산과학원 아열대수산연구센터, ¹원광대학교 생명과학부/환경과학연구소

Seasonal Variation in Community Structure of Subtidal Seaweeds in Jeju Island, Korea

Bo Yeon Kim, Jun-Cheol Ko, Hyuck Joon Ko, Sung Eun Park, Hyung Kee Cha and Han Gil Choi^{*}

Subtropical Fisheries Research Center, National Fisheries Research and Development Institute, Jeju-do 690-192, Korea

¹Faculty of Biological Science and Institute for Environmental Science, Wonkwang University, Iksan, 570-749, Korea

Marine macroalgal community structures and characteristics of ocean environmental factors were examined seasonally at four sites in Jeju Island, Korea, from March to November 2012. A total of 71 macroalgal species were identified, including 9 green, 7 brown, and 55 red algae. *Peyssonnelia capensis* occurred at all study sites and in all seasons. The average annual biomass of seaweed was 991.84 g wet wt/m², with seasonal variations from 543.80 g in autumn to 1,284.17 g/m² in summer. A green alga, *Codium coactum*, was the dominant species, occupying 21.31% (211.39 g/m²) of the total algal biomass in Jeju Island. Subdominant species were *Ecklonia cava* and *Lithophyllum okamuræ*, comprising 20.85% (206.75 g/m²) and 19.64% (194.75 g/m²), respectively, of the total algal biomass in Jeju Island. The vertical distribution of subtidal seaweeds was represented by *L. okamuræ* at 5 m depth, *C. coactum* at 10 m depth, *E. cava* at 5-10 m depth and *P. capensis* at the 20 m depth level. In the present study, crustose coralline algae, which predominated on barren ground, were subdominant species at all study sites. Community indices varied between 0.51-0.63 for dominance index (DI), 5.53-8.14 for richness index (R), 0.51-0.63 for evenness index (J'), and 2.04-2.32 for diversity index (H'). On the basis of seaweed biomass and community indices, Sinchang was the best preserved coastal area, showing maximal values in biomass, and evenness- and diversity- indices, and minimal value in the dominance index, representing stable environmental conditions. In contrast, the Onpyung and Topyeong sites, located near tourist venues such as Udo and Seogwipo were relatively poor habitats based on community indices and biomass. The present results could imply that climate changes alter seaweed community structure, and long-term monitoring of the study sites is required.

Key words: Community structure, Jeju, Seaweed, Biomass, Climate change

서론

조하대 해조류 군집은 다양한 어패류와 무척추동물의 산란, 생육 및 먹이장으로서 연안생태계의 생물다양성과 생산성에서 중요한 기능을 가진다(Terawaki et al., 2001). 전 세계 해조류의 경제적 가치는 약 110억 달러 정도이며, 특히 켈프숲은 육상의 경작지에 비해 약 4배 이상의 생산성을 보인다(Millar, 2011). 이외에도 해조류는 전통적으로 인간에게 식용과 약용으로 활용되었으며, 최근에는 이차산물인 아가, 카라기난, 알긴산 및 다른 화합물들이 건강식품과 식품산업에 다양한 형태로 이용되고 있으며, 신약과 화장품의 원료로도 관심을 받고 있다(Oh et al.,

1990; Cha et al., 2006). 또한, 해조류는 해수에서 영양염을 직접 흡수하기 때문에 생물정화자(bio-filter)로서, 그리고 인간의 직접적인 활동(예, 부영양화, 양식, 퇴적물, 해양건설, 먹이망 간섭 등)과 간접적인 활동(예, 기후 변화, 질병 발생)에 의해 군집 구조가 변화되거나 소멸되므로 생물지시자(bio-indicator)로 사용되고 있다(Díez et al., 1999; Orfanidis et al., 2001; Arévalo et al., 2007; Wells et al., 2007; Song et al., 2011). 최근 전세계인의 관심 대상인 기후변화로 지구 대기 온도는 지난 세기 동안에 약 0.74℃ 상승하였으며(IPCC, 2007), 우리나라 연근해의 표층 수온은 지난 41년 동안에 1.30℃ 상승하였다(Seong et al., 2010). 특히, 우리나라 남쪽에 위치한 제주도 연안의 표층 수온

Article history:

Received 10 July 2013; Revised 4 September 2013; Accepted 6 September 2013

*Corresponding author: Tel: +82. 63. 850. 6579 Fax: +82. 63. 857. 8837

E-mail address: hgchoi@wku.ac.kr

Kor J Fish Aquat Sci 46(5) 607-618, October 2013

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0607>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

© The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science. All rights reserved

은 최근 86년 동안에 1.94°C(연안정지 관측자료 분석 결과) 상승하여 전 세계 평균수온의 상승 정도인 0.67°C보다 훨씬 높게 나타남으로써(Belkin, 2009), 제주도가 아열대 해역으로 급변하는 것으로 보고되었다(Suh et al., 2011).

제주 연안에서 해조류 연구는 1960년에 153종을 최초로 보고하였으며(Kang, 1960), 이후 암반 조간대의 해조상과 군집 구조에 대한 연구(Lee, 1974; Lee and Lee, 1976; Lee, 1976; Lee and Lee, 1982; Yoon, 1985; Boo, 1988; Kim, 1991; Kim et al., 2008)와 천이 양상(Kim and Park, 1997) 및 정성과 정량적 분석방법(Park et al., 1994)에 대한 연구가 수행되었다. 이러한 연구는 대부분 조간대 해조군집에 한정되었으며, 제주도 조하대에 관한 연구는 문섬과 우도에 서식하는 해조류의 계절별 생물량 변화(Ko et al., 2008; Kang et al., 2011)와 갯녹음의 현황파악을 위한 서귀포 연안에서 수행된 연구가 있다(Chung et al., 1998). 조하대 지역은 조간대에 비해 상대적으로 환경이 안정되고, 넓은 면적을 차지하며, 해조류의 종다양성과 생물량이 풍부한 특징을 보이고 있어 조하대 해조군집에 대한 연구자료는 향후 환경과 연안생태계 변화를 확인할 수 있는 중요한 척도로 사용될 수 있다(Yoo, 2003; Choi et al., 2006). 하지만, 조하대 생태계의 일차생산자인 해조류의 종다양성과 계절별 생물량 변화를 파악하는 것은 SCUBA diving을 통해서만 연구가 가능한 제한성으로 인해 많은 비용과 노동력이 요구되므로 연안생태계를 이해하고 관리 및 보존할 수 있는 과학적인 기초 자료가 부족한 실정이다. 특히, 제주도는 쿠로시오 난류의 지류인 대마난류와 기후변화로 인해 수온이 상승한 중국 양자강의 영향을 받고 있어 조하대 해조류 군집구조를 파악하는 것은 향후 기후변화에 따른 우리나라 연안의 생태계 변화를 예측할 수 있는 중요한 자료가 될 것이다(Belkin, 2009). 제주도는 여름철에 고온과 저염의 중국대륙 연안수의 영향을 받으며, 계절에 따라 남해 연안수와 황해저층냉수 등의 영향과 함께 해안선 인근의 용천수와 여름철 육지에서의 담수유입으로 인해 해양환경의 변화가 매우 복잡한 특성을 보인다(Kim and Rho, 1994). 또한, 제주도 연안에서는 온대해역인 대한민국의 본토와는 달리 열대와 아열대성 생물들이 다양하게 서식하며, 해조류의 종다양성도 우리나라의 다른 해역에 비해 높은 것으로 나타났다(Park et al., 1994; Yang et al., 2007).

해조류의 수평분포는 그들의 성장과 성숙을 제한하는 수온에 의해, 그리고 수직분포는 환경스트레스인 건조 내성(조간대)과 조도(조하대)에 의해 결정된다(Lüning, 1990; Breeman and Pakker, 1994). 제주도 문섬의 조하대 해조류 생물량(kg wet wt/m²)은 수심 5-10 m에서 감태(1-3 kg), 유절석회조류(0.1-1.5 kg), 모자반 속과 미역 등의 해조류가 번무하였으며, 연평균 생물량은 수심 1 m에 비해 5-10 m에서 높게(약 3 kg wet wt/m²) 나타났다(Ko et al., 2008). 갯녹음이 극심한 서귀포(보목과 새섬) 조하대에는 무절산호조류가 수심 4-5 m까지 번무하였으며 수심 6-7 m에서 감태 군락이 일부 관찰되었다(Chung et al., 1998). 우도에서 해조류의 연 평균 생물량은 약 3 kg wet wt/

m²였으며 감태가 1-10 m의 모든 수심에서 높은 생물량을 보였다(Kang et al., 2011). 이처럼, 제주도의 조하대는 켈프인 감태와 무절·유절산호조류가 번무하는 것으로 나타났으나, 현재까지의 연구는 제주도 남쪽(서귀포 인근)과 동쪽(우도)에 관한 자료만 있을 뿐 서쪽과 북쪽에 대한 조하대 해조군집 및 수직분포에 대한 자료는 없는 상태이다. 더구나, 인간활동에 의한 기후변화와 환경오염, 그리고 관광객 증가 등의 다양한 환경요인 변화는 갯녹음 해역을 확대시키고 있으며(Chung et al., 1998), 기후변화로 인한 수온 상승은 열대성 해조류 출현종과 생물량의 증가 및 종다양성 감소와 같은 해조류 군집구조의 변화를 가져오고 있다(Carballo et al., 2002).

따라서, 본 연구는 우리나라 다른 해역에 비해 아열대화가 빠르게 진행되고 있는 제주도 동·서·남·북 조하대 해역의 해양환경특성과 연안생태계 먹이사슬에서 기초생산자인 해조류의 종다양성, 자원량, 수직분포 등 군집구조를 분석하여, 산업화와 환경오염 및 기후변화로 인한 갯녹음 발생, 열대성 해조류 번무, 군집구조의 단순화와 같은 연안생태계 변화를 예측하고 해조류 자원의 보존 및 관리방안 등을 위한 과학적인 자료를 제공할 목적으로 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구를 수행하기 위해 해조류 채집 및 해양환경 조사는 제주도의 동·서·남·북에 위치한 온평(33°24'N, 126°54'E), 신창(33°21'N, 126°10'E), 토평(33°14'N, 126°34'E), 북촌(33°33'N, 126°41'E)에서 2012년 3월부터 11월까지 계절별로 SCUBA Diving에 의해 실시되었다(Fig. 1).

해양환경조사

각 정점별 표층과 저층(수심 10 m)의 수온, 염분은 YSI (6600-V2)를 이용하여 현장에서 측정하였으며, 해수 시료는 Niskin 채수기를 이용하여 저층에서 채집 후 냉장상태(4°C)를 유지하

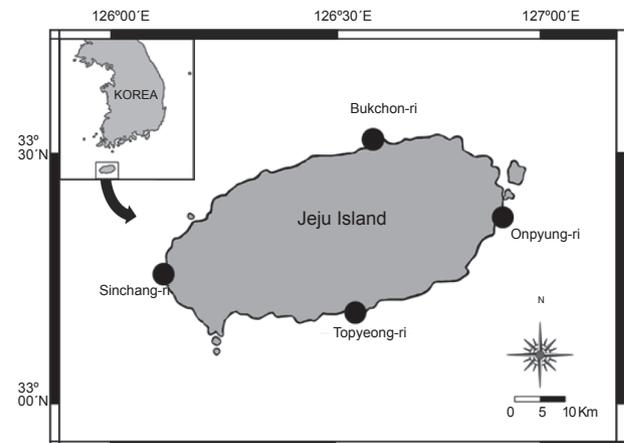


Fig. 1. A map of the four study sites in Jeju Island, Korea.

면서 실험실로 운반하여 분석하였다. 부유물질(SS)은 미리 무게를 잰 GF/F 여과지로 해수시료 2 L를 여과하고 110°C에서 항량으로 건조한 후 전자저울(CP124S, Sartorius)로 무게를 측정하였다. Chl-a는 해수시료 약 1 L를 GF/F 여과지로 여과한 후, 90% 아세톤 용액 10 mL를 첨가하여 엽록소를 추출한 다음 원심분리기로 분리된 상등액을 spectrophotometer (UVIKONxs, SCOMAM)를 이용하여 측정하였다(Parsons et al., 1984). 영양염류는 해양환경공정시험기준(MLTMA, 2010)에 따라 암모니아 질소(NH₄⁺-N), 아질산 질소(NO₂⁻-N), 질산 질소(NO₃⁻-N), 인산 인(PO₄³⁻-P)은 각각 Indophenol method, NED method, cadmium reduction method, Ascorbic acid method로 분석하였으며, 규산 규소[Si(OH)₄-Si]는 Molibden blue method로 spectrophotometer (UVIKONxs, SCOMAM)를 이용하여 비색정량하였다. 용존무기질소(DIN)는 암모니아와 아질산 및 질산 질소의 합으로 나타냈다.

해조류 채집

각 정점의 조하대 수심 5, 10, 20 m에서 10×10 cm로 구획된 방형구(50×50 cm)를 각각 2개씩 놓고 방형구 내에 출현하는 해조류를 끌칼을 이용하여 전량 채집하였다. 채집된 해조류는 현장에서 포르말린-해수 용액(5-10%)으로 고정시켜 실험실로 운반한 후 현미경을 사용하여 동정하였으며, 출현종 학명 및 국명은 Lee and Kang (2002)에 따랐다. 정량 채집된 해조류는 담수로 수회 세척하여 모래 및 불순물을 제거하고 종별로 습중량을 측정하였으며, 단위 면적당 생물량(g wet wt/m²)으로 환산하였다.

군집지수

연구 정점별 출현종과 생물량으로 Margalef (1958)의 풍도지수(richness index, R), Fowler and Cohen (1990)의 균등도 지수(evenness index, J')와 Shannon's 다양도 지수(diversity index, H')를 계산하였다. 우점도 지수(dominance index, DI)는 방형구내 전체 생물량에 대한 제 1, 2 우점종 생물량의 합의 비로 산출하였다(McNaughton, 1967). 또한, 출현한 해조류의 우점도는 K-dominance 곡선으로 비교하였고(Lambhead et al., 1983), 해조류의 출현종 유·무로 각 정점의 유사도(similarity)를 분석하였으며(Bray and Curtis, 1957), 그룹 간 유의차는 SIMPROF (similarity profile) tests를 실시하여 검정하였다. 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.

통계분석

연구 정점, 계절 및 수심별 생물량에 관한 통계분석은 Cochran의 등분산검정(test of homogeneity of variances)을 실시

하여 데이터의 동질성이 확인되면 two-way ANOVA test를 실시하여 유의차를 검정하였고, 유의차가 발견되면 Tukey's HSD test 방법으로 사후 검정하였다(Sokal and Rohlf, 1995). 생물량 데이터는 통계분석을 위해 Log 변환(Log transformation)하였으며, 분석을 위해 사용된 통계 프로그램은 STATISTICA version 5.0 이었다.

결 과

해양환경특성

연구 정점 4개에서 표층 수온은 14.0-24.3°C (평균 18.9±2.4°C)이고 저층 수온은 14.1-21.6°C (18.0±1.9°C)로 겨울에 최저였고 여름에 최고였으며, 표층과 저층의 수온차는 여름에 최대로 나타났다(Fig. 2). 온평에서 표층 수온은 계절별로 13.6-23.5°C (평균 18.4°C), 저층은 14.4-21.4°C (17.7°C)로 겨울에 가장 낮았고 여름에 가장 높았다. 토평에서 표층은 14.9-25.5°C (19.7°C)로 겨울에 최소였고 여름에 최대였지만, 저층은 가을에 22.0°C로 최대 수온을 보였다. 신창에서 표-저층 수온은 각각 18.9°C (14.4-24.2°C)와 18.4°C (14.3-22.6°C)였으며, 북촌에서는 각각 18.5°C (13.2-24.0°C)와 17.9°C (13.2-21.9°C)로 모두 겨울에 최소였고 여름에 최대였다.

염분은 표층에서 평균 33.3 psu (31.2-34.5 psu), 저층에서 33.7 psu (31.7-34.5 psu)로 나타났으며, 계절별로는 수온과 반대로 표-저층 염분 모두 여름에 최소, 겨울에 최대로 확인되었다(Fig. 2). 정점별 염분은 표층에서 32.7-33.6 psu로 북촌에서 최소였고 신창에서 최대였으며 모든 연구정점에서 여름에 최소였고 겨울에 최대였다. 저층 염분은 33.6-33.8 psu로 정점간 염분의 변화는 거의 없었으며, 계절에 따른 변화 양상은 표층 염분과 마찬가지로 여름에 최소였으며 겨울에 최대를 보였다.

연구기간 동안 용존무기질소(DIN) 농도는 연평균 0.109 mg/L로, 계절별로는 0.045-0.242 mg/L의 범위로 여름에 최소, 겨울에 최대였으며, 정점별로 0.075-0.145 mg/L로 신창에서 최소, 온평에서 최대값을 보였다(Table 1). 용존무기인(DIP)의 경우 연평균 0.004 mg/L로, 계절별로는 0.001-0.009 mg/L의 농도로 여름에 최소, 가을에 최대였고, 정점별로는 0.003-0.005 mg/L로 정점 간 큰 차이는 없었으며, 온평에서 최대로 나타났다. 규산(SiO₂)의 농도는 연평균 0.224 mg/L로, 계절별로는 0.184-0.295 mg/L로 가을에 최소, 여름에 최대로 확인되었고, 정점별로는 0.176-0.258 mg/L로 신창에서 가장 낮고, 북촌에서 가장 높았다. 부유물질(SS)의 경우 연평균 1.5 mg/L로 계절별로는 1.1-2.3 mg/L의 범위를 보이며 여름에 최소값, 가을에 최대값을 보였으며, 정점별로는 1.1-1.7 mg/L로 토평에서 최소, 북촌에서 최대였다. Chlorophyll-a의 경우 연평균 농도는 1.105 µg/L로 나타났으며, 계절별 분포 양상은 0.660-1.641 µg/L의 범위로 봄에 최소, 여름에 최대였고, 정점별로는 0.981-1.440 µg/L로 신창에서 최소, 북촌에서 최대값을 보였다.

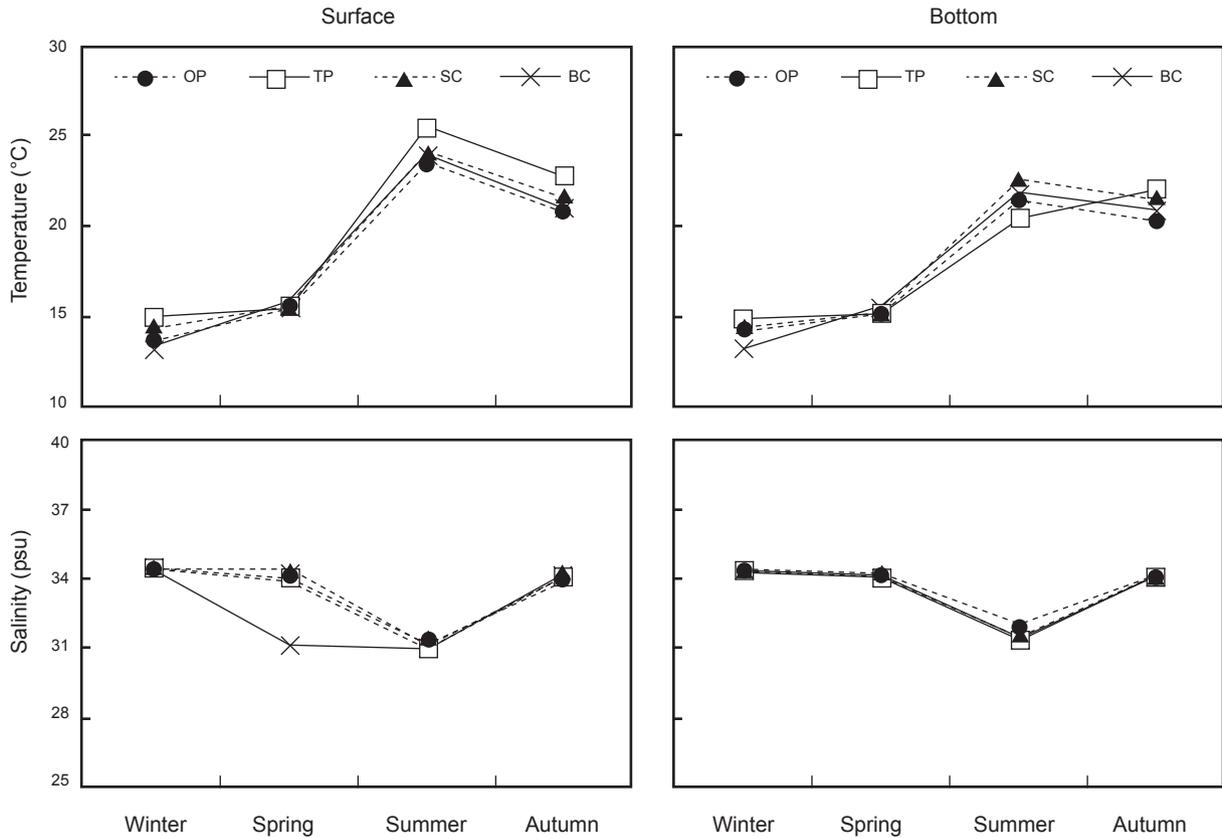


Fig. 2. Seasonal variations of temperature and salinity at four study sites in Jeju Island. OP, Onpyung; TP, Topyeong; SC, Sinchang; BC, Bukchon.

종조성

본 연구기간 동안 제주도 4개 정점에서 출현한 해조류는 총 71종으로 녹조류 9종(12.68%), 갈조류 7종(9.86%), 홍조류 55종(77.46%)이었으며, 계절별 출현종수는 28-60종으로 가을에 최소, 겨울에 최대로 나타났다(Table 2). 정점별 출현종수는 38-59종으로서 토평에서 가장 적었고 북촌에서 최대였다. 모든 정점에서 연중 출현한 해조류는 자루바다표고(*Peyssonnelia capensis*) 1종이었으며, 3개 정점에서 모든 계절에 출현한 종은 흑돌잎(*Lithophyllum okamurae*), 넓은계발(*Amphiroa anceps*), 방향계발혹(*Marginisporum aberrans*)과 붉은뼈까막살

(*Grateloupia angusta*) 4종으로 확인되었다.

온평 연안에서 연간 출현한 해조류는 39종으로 녹조류 4종(10.26%), 갈조류 3종(7.69%), 홍조류 32종(82.05%)으로 홍조류의 비율이 가장 높았으며, 계절별로는 10-25종으로 가을에 최소, 겨울에 최대였다. 연중 출현한 종은 감태(*Ecklonia cava*), 자루바다표고, 흑돌잎과 붉은뼈까막살이었으며, 온평에서만 출현하는 종은 개우무(*Pterocladia capillacea*), *Callophyllis* sp., 참가시우무(*Hypnea charoides*)로 확인되었다. 토평에서는 연구기간 동안 총 38종(녹조 3종, 갈조 7종, 홍조 28종)이 출현하였으며, 분류군별로 녹조류 7.89%, 갈조류 18.42%, 홍조류 73.68%의 비율을 보였다. 계절별 출현종수는 여름에 최

Table 1. Seasonal variations of physical and chemical values observed in the bottom water at four study sites in Jeju Island, Korea, from March to November 2012

	Winter				Spring				Summer				Autumn			
	OP	TP	SC	BC												
DIN (mg/L)	0.343	0.078	-	0.306	0.081	0.101	0.117	0.075	0.027	0.079	0.027	0.048	0.128	0.090	0.080	0.090
DIP (mg/L)	0.006	0.005	0.003	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.000	0.002	0.010	0.008	0.009	0.009
SiO ₂ (mg/L)	0.344	0.137	-	0.265	0.214	0.170	0.185	0.180	0.190	0.424	0.178	0.389	0.225	0.149	0.166	0.197
SS (mg/L)	1.2	1.4	1.7	1.3	0.6	0.5	0.4	2.9	1.0	0.9	1.1	1.2	3.8	1.4	2.6	1.5
Chl.a (µg/L)	0.43	1.03	0.71	1.91	0.65	0.75	0.56	0.68	1.46	1.43	1.48	2.08	1.43	0.81	1.17	1.08

Table 2. Marine algal lists and biomass (g wet wt/m²) occurred at four study sites in Jeju Island, Korea, from March to November 2012. Wi, Winter; Sp, Spring; Su, Summer; Au, Autumn

Species	Onpyung				Topyeong				Sinchang				Bukchon				
	Wi	Sp	Su	Au	Wi	Sp	Su	Au	Wi	Sp	Su	Au	Wi	Sp	Su	Au	
Chlorophyta																	
<i>Ulva pertusa</i>																2.00	0.07
<i>Ulva</i> sp.																3.53	
<i>Urospora penicilliformis</i>																	0.93
<i>Cladophora sakaii</i>			0.53				0.33				0.07					0.13	
<i>Cladophora wrightiana</i>		5.33			1.23		1.13	0.20		23.00				5.27	10.53		
<i>Cladophora herpestica</i>	0.19	9.67			0.41	7.27								1.67			
<i>Codium arabicum</i>													5.00	7.97		5.47	6.80
<i>Codium coactum</i>			57.00						209.0		442.3	171.4	519.6	60.67	1619.2	303.0	
<i>Codium contractum</i>										76.87			32.54				
Phaeophyta																	
<i>Colpomenia peregrina</i>	0.49				3.99				0.08				0.10				
<i>Undaria pinnatifida</i>	5.98				0.24												
<i>Ecklonia cava</i>	160.8	495.5	0.33	24.53	569.9	284.9		46.20	242.2	919.1	30.80	22.67	228.0	110.6	172.5		
<i>Dictyopteris prolifera</i>					0.07												
<i>Dictyota coriacea</i>					0.05									9.40	7.87		
<i>Padina arborescens</i>					0.25									6.73			
<i>Sargassum horneri</i>							7.67										
Rhodophyta																	
<i>Dichotomaria falcata</i>	0.07	2.00			5.62				1.03	35.93	0.20		0.40				
<i>Acanthopeltis</i> sp.					0.07	10.07					0.20	1.40	0.83	11.27	0.13	3.20	
<i>Gelidium amansii</i>												0.73					
<i>Pterocliadiella capillacea</i>	0.14																
<i>Peyssonnelia boergesenii</i>																	
<i>Peyssonnelia capensis</i>	21.14	10.87	2.33	24.87	26.08	9.40	35.33	26.73	125.9	4.53	45.47	64.87	51.13	3.33	2.20	31.27	
<i>Peyssonnelia dubyi</i>	+				+		3.60			2.60	10.60	10.20	1.86		62.73		
<i>Hildenbrandia rubra</i>															0.27		
<i>Hydrolithon craspedium</i>													22.18				
<i>Hydrolithon setchellii</i>													22.96				
<i>Lithophyllum okamurae</i>	164.8	79.87	605.5	99.80		95.27	11.93	9.13	164.8	110.4	661.2	679.3	134.1	72.40	190.5	37.00	
<i>Synarthrophyton chejuensis</i>		5.67	1.87	4.60	1.78	4.87		2.33	5.71	7.93	0.13	4.87	1.45	7.13	0.67	4.07	
<i>Alatocladia modesta</i>		37.80				41.47		1.20	35.05	40.40			2.37	29.47			
<i>Amphiroa anceps</i>		62.60	0.87		191.4	56.53	433.6	14.60	3.02	71.33	30.13	20.07	8.54	88.53	24.07	26.87	
<i>Amphiroa beauvoisii</i>		1.40			0.23	16.60						26.07	11.50	47.07	7.53		
<i>Amphiroa ephedraea</i>	11.43	28.73			16.32	38.13	84.60	105.9	0.40	35.40	72.67	1.67	1.95	46.93	0.27		
<i>Amphiroa foliacea</i>			5.93		37.66	11.87	13.87		0.99	8.07	8.27		13.42	0.53			
<i>Amphiroa misakiensis</i>	30.54	10.53			2.43			3.67	1.32	22.60			4.05	21.40		13.93	
<i>Amphiroa pusilla</i>	0.21							0.40			16.07						

+, present

소(13종)였고, 겨울에 최대(30종)였으며, 자루바다표고, 넓은게발, 둥근띠게발(*Amphiroa ephedraea*)과 방황게발혹은 연중 관찰되는 종이였다. 또한, 토평에서만 관찰된 해조류는 가시뻘대그물말(*Dictyopteris prolifera*), 팽생이모자반(*Sargassum honeri*)과 갈고리참곱슬이(*Plocamium cartilagineum*)로 3종이며, 갈고리참곱슬이는 4회 조사 중 3회 출현하였다. 신창에서는 일년 동안 녹조류 5종(12.20%), 갈조류 2종(4.88%), 홍조류 34종(82.93%)으로 총 41종이 출현하였으며, 계절별로는 여름과 가을에 20종으로 최소, 겨울에 26종으로 최대였다. 신

창에서 4 계절의 조사기간 동안 출현한 해조류는 감태, 자루바다표고, 흑돌잎, 낭과쩍(*Synarthrophyton chejuensis*), 넓은게발, 둥근띠게발, 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 방황게발혹, 붉은뻘까막살, 참곱슬이(*Plocamium telfairiae*)로 갈조류 1종과 홍조류 9종이었으며, 신창에서만 출현한 종은 우뚝가사리(*Gelidium amansii*), 참깃풀(*Antithamnion nipponicum*), 참갈래줄잎(*Schizoseris subdichotoma*)이었다. 북촌에서는 59종(녹조 9종, 갈조 4종, 홍조 46종)이 분류 및 동정되었으며, 계절별로는 16-44종으로 가을에 최소, 겨울에 최대였으며, 누운청

Table 2. (Continued)

Species	Onpyung				Topyeong				Sinchang				Bukchon			
	Wi	Sp	Su	Au	Wi	Sp	Su	Au	Wi	Sp	Su	Au	Wi	Sp	Su	Au
<i>Corallina confusa</i>	2.20	9.13		16.13	3.75	11.07		2.27	191.7	22.53		17.93	18.93	31.53		
<i>Ellisolandia elongata</i>				15.53	0.23	37.93		4.20	16.16	48.67		8.80	3.69	53.27		12.40
<i>Corallina officinalis</i>								2.67				15.73				3.87
<i>Corallina pilulifera</i>									3.27	27.47	1.53	0.20				3.40
<i>Corallina</i> sp.		71.53			0.19	100.3				103.7				74.07		
<i>Jania arborescens</i>					5.23	11.80		6.47		50.33	16.67	5.67				3.33
<i>Marginisporum aberrans</i>	2.27	26.27		24.67	8.99	46.27	12.87	72.93	116.0	35.07	37.87	33.20	49.26	46.80	2.87	42.13
<i>Marginisporum crassissimum</i>	202.7		35.67		33.16	7.33	110.9		87.76	14.60	45.47		292.1		7.20	
<i>Corallina melobesoides</i>	11.43				+				24.77				4.18			
<i>Grateloupia angusta</i>	11.37	11.80	0.67	6.07	23.53		11.20	19.07	27.83	54.80	11.73	8.73	3.42	79.73	2.40	25.93
<i>Grateloupia kurogii</i>	0.81						1.27						0.01			
<i>Callophyllis japonica</i>		0.93								5.60			0.41			
<i>Callophyllis</i> sp.	0.04	0.27														
<i>Schizymeria dubyi</i>													2.42			
<i>Portieria japonica</i>	1.01								0.14				1.05			
<i>Meristotheca papulosa</i>	1.42									9.87						
<i>Plocamium telfairiae</i>	0.53	0.47		1.47	0.86	0.67		5.80	0.21	1.93	4.60	4.13	0.35	1.80		7.07
<i>Plocamium cartilagineum</i>					0.29	1.40		5.33								
<i>Hypnea charoides</i>				3.93												
<i>Gracilaria textorii</i>																0.07
<i>Chondracanthus tenellus</i>																1.13
<i>Gloiocladia leptophylla</i>					0.05								0.22			
<i>Gloiocladia</i> sp.	0.18	12.33							0.25	8.93			0.15	5.53		
<i>Champia compressa</i>	0.98												23.40			
<i>Champia expansa</i>			124.9		0.11								0.10		5.27	
<i>Champia parvula</i>													16.92	8.07		
<i>Antithamnion nipponicum</i>									+							
<i>Herpochondria elegans</i>									+				+			
<i>Plumariella yoshikawae</i>													2.55			
<i>Acrosorium</i> sp.													0.17	6.60		
<i>Schizoseris subdichotoma</i>									+							
<i>Heterosiphonia japonica</i>			1.27				0.13					1.07	1.28		3.60	
<i>Ardissonula regularis</i>													0.28			
<i>Chondria chejuensis</i>													0.09			
<i>Laurencia pinnata</i>	0.01								0.38				0.36			
<i>Neosiphonia savatieri</i>													+			
Biomass (g wet wt/m ²)	630.7	882.7	836.9	221.6	934.1	794.4	727.1	329.1	1257.9	1741.7	1437.0	1102.6	1486.4	829.8	2135.6	521.9
Chlorophyta	1	2	2	0	2	1	2	1	1	2	2	2	3	3	6	4
Phaeophyta	3	1	1	1	6	1	1	1	2	1	1	1	2	3	2	0
Rhodophyta	21	17	9	9	22	18	10	16	23	22	17	17	39	19	17	12
Total	25	20	12	10	30	20	13	18	26	25	20	20	44	25	25	16

+, present

각(*Codium coactum*), *Acanthopeltis* sp., 자루바다표고, 흑돌 잎, 낭과적, 넓은게발, 방황게발혹, 붉은뼈까막살이 연중 출현 하였다. 북촌에서만 출현한 해조류는 녹조류 3종, 홍조류 13종 으로 총 16종이었고, 그 중 2회 이상 출현한 해조류는 구멍갈 파래(*Ulva pertusa*), 참사슬풀(*Champia parvula*)과 분홍잎류 (*Acrosorium* sp.)로 확인되었다.

출현종의 유·무로 유사도 분석을 실시한 결과, 통계학적으로

유의차를 보이는 4개 그룹 즉, 그룹 A(여름), 그룹 B(온평, 신창, 북촌의 겨울), 그룹 C(온평, 신창, 북촌의 봄, 토평 겨울, 봄, 가을), 그룹 D(온평, 신창, 북촌의 가을)로 구분되어 계절적인 차이를 보이는 것이 확인되었다(Fig. 3). 여름의 출현종(그룹 A)은 나머지 3개 그룹과 45.98%의 가장 낮은 유사도를 보였으며, 그룹 C와 D 사이의 유사도는 54.87%, C·D 그룹과 B 그룹 간의 유사도는 50.80%로 유의차를 나타냈다(SIMPREF test,

$P < 0.05$). 구분된 4개 그룹 간의 차이(비유사성, dissimilarity)에 기여하는 종을 확인하기 위해 SIMPER 분석을 실시한 결과, 비유사도가 가장 높은 그룹 A와 B 사이에서는 사카이대마디말(*Cladophora sakaii*), 반질볼레기말(*Colpomenia peregrine*), 난장이게발(*Amphiroa misakiensis*), 방울산호말(*Corallina confuse*), 넓적야마다산호말(*Corallina melobesioides*), 왜잎송진내(*Portieria japonica*), *Gloiocladia* sp., 깃꼴서실(*Laurencia pinnata*)이 비유사도의 기여도가 높았다. 반면, 비유사도가 가장 낮은 그룹 C와 D 간의 비유사도에 기여하는 종은 참화살깃산호말(*Alatocladia modesta*), 갈색대마디말(*Cladophora wrightiana*)과 산호말류(*Corallina* sp.)였다.

생물량

제주도 4개 해역(온평, 토평, 신창, 북촌)의 조하대 해조류 연평균 생물량은 991.84 g wet wt/m²이며, 분류군별로는 녹조류가 224.40 g/m² (22.62%), 갈조류 209.43 g/m² (21.12%), 홍조류가 558.01 g/m² (56.26%)으로 홍조류가 최대 생물량을 보였다. 정점별 생물량은 642.96-1,384.79 g/m²로 온평에서 최소, 신창에서 최대였으며, 계절별 생물량은 543.80-1,284.17 g/m²로 가을에 최소, 여름에 최대였다(Table 2). 4개 정점의 계절별 생물량을 two-way ANOVA로 분석한 결과 정점($F_{3,32}=2.21, P=0.11$) 및 계절별 생물량($F_{3,32}=1.95, P=0.14$)의 통계적 유의차는 없었다. 계절별 생물량은 온평에서 221.60-882.67 g/m² (평균 642.96 g/m²), 신창에서는 1,102.60-1,741.67 g/m² (평균 1,384.79 g/m²)으로 가을에 최소, 봄에 최대였으며, 토평에서는 329.13-934.07 g/m² (평균 696.18 g/m²)으로 겨울에 최대, 북촌에서는 521.87-2,135.60 g/m² (평균 1,243.42 g/m²)으로 여름에 최대로 나타났다. 모든 정점에서 조사시기에 따른 유의차

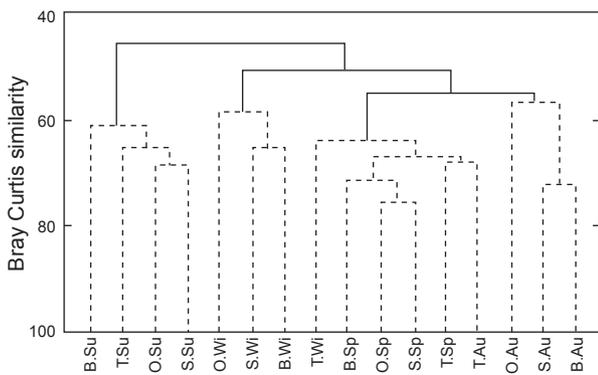


Fig. 3. Results of cluster analysis performed on Bray Curtis similarity from standardized species presence/absence transformed data. The dotted lined indicate no significant difference among four sites and four months (SIMPROF test). O, Onpyung; T, Topyeong; S, Sinchang; B, Bukchon; Sp, Spring; Su, Summer; Au, Autumn; Wi, Winter.

는 없었다(Fig. 4A).

수심별 연평균 생물량은 온평에서 241.33-1,258.77 g wet wt/m², 토평에서 473.64-1,014.78 g/m², 신창에서 477.06-2,076.65 g/m²으로 수심 20 m에서 최소였고, 5 m에서 최대였으며, 북촌에서는 343.93-2,561.78 g/m²으로 수심 20 m에서 최소, 10 m에서 최대였다. 4개 정점에서의 수심별 생물량을 two-way ANOVA로 분석한 결과 정점($F_{3,36}=4.39, P < 0.01$)과 수심별($F_{2,36}=14.02, P < 0.001$) 유의차가 확인되었다. 수심 20 m에서의 해조류 생물량은 5, 10 m의 생물량에 비해 현저히 낮았으며, 수심 5 m와 10 m에서의 생물량의 유의차는 발견되지 않았다(Tukey HSD test). 정점별로는 온평 해역의 수심 5 m와 20 m에서, 북촌의 수심 10 m와 20 m에서 해조류 생물량은 유의차를 보였으나 토평과 신창 해역의 수심별 생물량의 유의차는 없었다(Fig. 4B).

우점종

제주해역의 해조류 중에서 연간 평균 생물량이 가장 높은 종은 누운청각(211.39 g/m², 21.31%)이었으며, 그 다음은 감태(206.75 g/m², 20.85%), 흑돌잎(194.75 g/m², 19.64%) 순으로 나타났다. 각 정점별로는 온평에서 흑돌잎(237.49 g/m²)과 감태(170.29 g/m²)가 전체 생물량(642.96 g/m²)의 각각 36.94%, 26.48%를 차지하며 우점하였다(Fig. 5). 조사시기에 따라서는, 겨울에는 들레게발혹, 흑돌잎, 감태가, 봄에는 감태 1종이, 여름

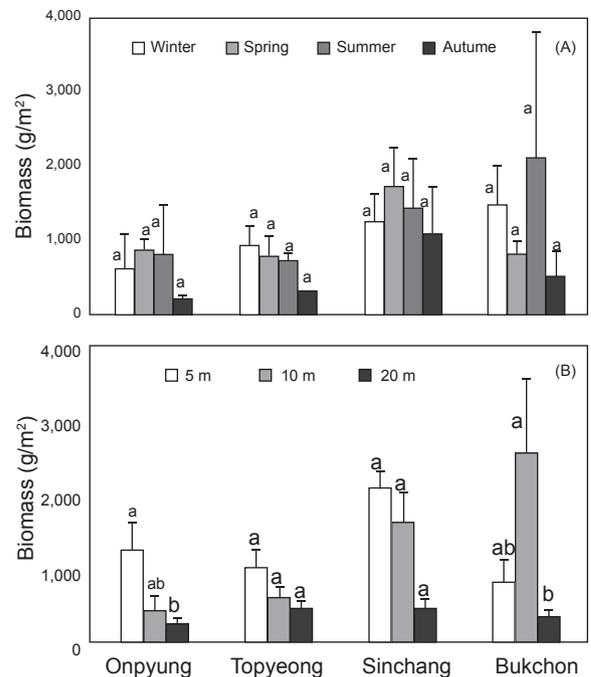


Fig. 4. Annual mean biomass (g wet wt/m²) in different seasons (A) and tidal levels (B) at four study sites in Jeju Island, Korea from March to November 2012. Vertical bars represent standard errors.

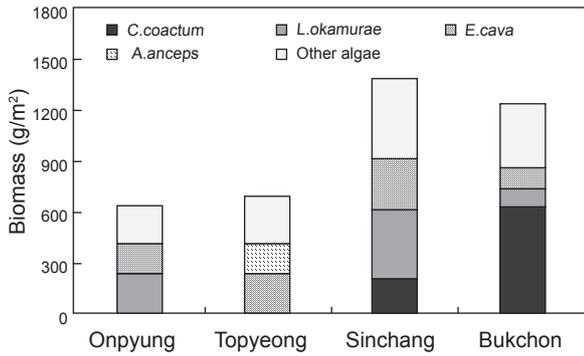


Fig. 5. Annual mean biomass (g wet wt/m²) of dominant species at four study sites in Jeju Island, Korea, from March to November 2012.

에는 흑돌잎, 넓은사슬풀, 가을에는 흑돌잎 1종이 생물량을 구성하는 우점종으로 확인되었다. 토평 해역에서는 감태(225.24 g/m²)와 넓은게발(174.03 g/m²)이 평균 생물량(696.18 g/m²)의 각각 32.35%, 25.00%의 비율을 보였으며(Fig. 5), 계절별 우점종은 겨울에는 감태, 넓은게발, 봄에는 감태, *Corallina* sp., 여름에는 넓은게발, 돌레게발혹, 가을에는 둥근띠게발 1종으로 유절 산호조류가 연중 우점하였다. 신창 해역에 서식하는 해조류 중 연평균 생물량이 가장 높은 종은 전체 생물량(1,384.79 g/m²)의 29.17%를 차지하는 흑돌잎(403.91 g/m²)이었고, 감태(303.69 g/m², 21.93%), 누운청각(205.67 g/m², 14.85%) 순으로 나타났다(Fig. 4). 계절별로는 겨울에 감태, 누운청각, 봄에는 감태 1종이, 여름과 가을에는 흑돌잎과 누운청각이 높은 생물량을 보이며 우점하였다. 북촌의 해조류 연평균 생물량은 1,243.42 g/m²이며, 누운청각(625.63 g/m²)이 50.31%를 차지하며 가장 우점하였고, 감태(127.79 g/m²)와 흑돌잎(108.52 g/m²) 순으로 확인되었다(Fig. 5). 계절별 생물량을 구성하는 주요종은 겨울에는 누운청각, 돌레게발혹과 감태였고 봄에는 감태와 넓은게발이며 여름과 가을에는 누운청각 한 종으로 나타났다.

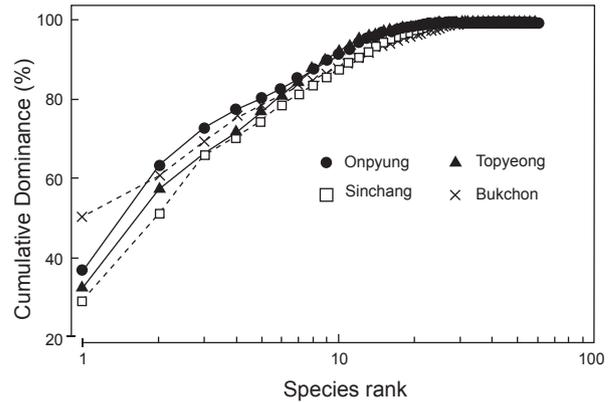


Fig. 6. K-dominance curves (x-axis logged) for mean biomass at four study sites in Jeju Island, Korea. Data were pooled for four months and three tidal levels.

한편, 정점별로 출현한 종의 연평균 생물량을 k-dominance 곡선으로 비교하면, 우점종 3종의 생물량이 신창(흑돌잎, 감태, 누운청각)과 토평(감태, 넓은게발, 둥근띠게발)에서는 전체 생물량의 70% 이하를 차지하고 북촌(누운청각, 감태, 흑돌잎)에서는 70% 정도를 차지하였으며, 온평에서는 우점종 3종인 흑돌잎, 감태, 돌레게발혹이 전체 생물량의 70% 이상을 나타냈다(Fig. 6).

수직분포

연평균 생물량을 토대로 한 우점종의 수직분포를 분석한 결과, 온평에서는 흑돌잎·감태(5, 10 m) - 흑돌잎·넓은게발(20 m)로 흑돌잎이 전 수심에서 우점하였으며, 토평 해역은 수심 5 m와 10 m에서 감태·넓은게발이, 수심 20 m에서는 넓은게발·자루바다표고로 확인되어 넓은게발이 전 수심에서 우점하여 나타났다. 신창에서는 흑돌잎·감태(5 m) - 감태·누운청각(10 m) - 자루바다표고·붉은뽕까막살(20 m)의 수직분포를 보였으며, 북촌의 수심 5 m에서는 흑돌잎과 돌레게발혹이, 10 m에서는 누운

Table 3. Vertical distribution of dominant and subdominant seaweed based on mean biomass (g wet wt/m²) at four study sites in Jeju Island, Korea

	Onpyung	Topyeong	Sinchang	Bukchon
5 m	<i>Lithophyllum okamurae</i> (579.02)	<i>Ecklonia cava</i> (461.06)	<i>Lithophyllum okamurae</i> (1134.49)	<i>Lithophyllum okamurae</i> (247.39)
	<i>Ecklonia cava</i> (312.61)	<i>Amphiroa anceps</i> (193.40)	<i>Ecklonia cava</i> (262.10)	<i>Marginisporum crassissimum</i> (183.29)
10 m	<i>Ecklonia cava</i> (198.00)	<i>Ecklonia cava</i> (212.49)	<i>Ecklonia cava</i> (635.31)	<i>Codium coactum</i> (1843.48)
	<i>Lithophyllum okamurae</i> (75.32)	<i>Amphiroa anceps</i> (137.39)	<i>Codium coactum</i> (616.36)	<i>Ecklonia cava</i> (274.04)
20 m	<i>Lithophyllum okamurae</i> (58.13)	<i>Amphiroa anceps</i> (191.30)	<i>Peyssonnelia capensis</i> (161.33)	<i>Ecklonia cava</i> (71.76)
	<i>Amphiroa anceps</i> (35.85)	<i>Peyssonnelia capensis</i> (69.68)	<i>Prionitis angusta</i> (36.74)	<i>Peyssonnelia capensis</i> (57.75)

Table 4. Various community indices of macroalgal flora for mean biomass (g wet wt/m²) at four study sites in Jeju Island, Korea

Community indices	Onpyung	Topyeong	Sinchang	Bukchon
Dominance index (DI)	0.63	0.57	0.51	0.61
Richness index (R)	5.88	5.65	5.53	8.14
Evenness index (J')	0.56	0.60	0.63	0.51
Diversity index (H')	2.04	2.17	2.32	2.07

청각과 감태, 20 m에서는 감태와 자루바다표고가 우점하였다. 녹조류인 누운청각은 수심 10 m, 홍조류인 자루바다표고는 수심 20 m에서 높은 생물량을 보였다(Table 3).

군집지수

정점별로 4계절에 출현한 해조류의 평균 생물량으로 계산한 우점도지수(DI)는 0.51-0.63으로, 온평에서는 제 1, 2 우점종인 흑돌잎(237.49 g/m²)과 감태(170.29 g/m²)가 전체 생물량(642.96 g/m²)의 63.42%를 차지하여 최대였고, 신창에서는 온평과 마찬가지로 제 1, 2 우점종인 흑돌잎(403.91 g/m²)과 감태(303.69 g/m²)가 전체 생물량(1,384.79 g/m²)의 51.10%를 차지하여 최소로 확인되었다. 풍도지수(R)는 5.53-8.14로 북촌에서 최대, 신창에서 최소였으며, 출현종수와 생물량에 따라 변화하는 균등도지수(J')는 풍도지수와는 반대로 신창에서 최대(0.63), 북촌에서 최소(0.51)로 나타났다. 출현종수와 생물량의 분포인 균등도지수에 의해 결정되는 다양도지수(H')는 2.04-2.32로 나타나 온평에서 최소, 신창에서 최대였다(Table 4).

고 찰

제주 해역은 대마난류수, 중국대륙연안수, 황해저층냉수, 한국남해연안수 등 다양한 수괴들의 영향으로 복잡한 해양환경을 가지며, 대마난류수, 기후변화 등으로 인해 열대 및 아열대성 생물들이 제주 연안에 서식하여 종다양성이 높은 독특한 생태계를 보이고 있다(Yang et al., 2007). 이러한 특징 때문에 제주도 해양생물 조사가 많은 학자들에 의해 활발히 진행되고 있으며(Yang et al., 2007), 해조류 또한 오래 전부터 군집구조에 대한 연구가 수행되어 왔다(Lee and Lee, 1976; Park et al., 1994; Lee et al., 1998; Yoo, 2003; Kang and Kim, 2012). 본 연구에서는 제주도 4개 해역에서 총 71종(녹조 9종, 갈조 7종, 홍조 55종)의 해조류가 출현하였고, 정점별로는 38-59종으로 북부해역인 북촌에서 가장 많은 출현종수를 보였다. 이는 제주 8개 해역(온평, 위미, 법환, 대포, 화순, 한림, 외도, 함덕)의 조하대에서 출현한 70-109종(Lee et al., 1998)에 비해 낮게 나타났으며, 출현종수가 가장 많은 북촌을 제외한 3개 정점의 출현종수는 Oak et al. (2004)이 숲섬에서 보고한 41종, Ko et al. (2008)이 문섬에서 보고한 46종과 유사하였다. 최근에는 제주도에 속한 추자도에서 162종(Kim et al., 2008), 우도에서 262종(Kang et al., 2011), 마라도에서 144종(Kang and Kim, 2012)으로 많은 종

이 출현하여 본 연구결과와 현저한 차이를 보였다. 본 조사에서 해조류 생물량(습중량)은 991.84 g/m²이었으며, 문섬(2,784 g/m², Ko et al., 2008), 우도(2,934.6 g/m², Kang et al., 2011), 마라도(2,932.3 g/m², Kang and Kim, 2012)와 같은 제주도 주변 도서에 비해 낮았으나, 이는 2012년 여름의 대형 태풍(볼라벤과 산바 등)으로 인해 암반이 뒤집히면서 해조류의 탈락 및 유실, 제주 연안에 발생한 갯녹음 현상(Chung et al., 1998), 양식장에서 대량의 유기물 유입(Delgado et al., 1997) 및 해양레저 관광객 증가에 의한 생태계 교란(Davenport and Davenport, 2006) 등 다양한 환경요인의 복합적인 작용으로 판단된다. 특히, 제주 동-남부는 대마난류의 영향을 가장 많이 받는 해역으로 수온이 높아 제주도 양식장의 60% 이상이 위치해 있고, 해양레저 이용객 수가 북부에 비해 약 5배 정도 높았으며(Chung and Kim, 2012), 해조류 생물량도 북부의 북촌(1,243.42 g/m²)과 서부의 신창(1,384.79 g/m²)에서 동부와 남부에 위치한 온평(642.96 g/m²)과 토평(696.18 g/m²)에 비해 2배 정도 높게 나타남으로써 기후변화(수온상승, 해양산성화)와 더불어 환경요인이 해조군집의 변화와 관련됨을 암시한다. 하지만, 본 연구에서 환경자료와 해조류의 생물량에서는 뚜렷한 패턴이 보이지 않았는데, 이는 연구 해역에 대한 환경 자료가 축적되지 않았기 때문으로 사료된다. 따라서, 기후변화와 환경변화가 본 연구 해역에서 식하는 해조류의 생물다양성 및 생물량에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하기 위한 장기적인 모니터링 연구가 요구된다.

조하대 해조류 군집은 대형 갈조류가 생물량의 대부분을 차지하고 있는데, 제주도 연안은 그 중에서 감태와 모자반류가 주요종의 역할을 하고 있다(Oak et al., 2004; Ko et al., 2008; Kang et al., 2011). 본 연구에서 생물량을 근거로 한 최우점종은 신창과 북촌에서만 우점하였던 누운청각(211.39 g/m²)이었으나, 감태(127.79-303.69 g/m², 평균 206.75 g/m²)는 모든 정점에서 높은 생물량을 보여 조사해역의 해중립을 구성하는 주요종이라 할 수 있다. 또한, 연구 정점에서 공통적으로 무절산호조류인 흑돌잎의 생물량(194.75 g/m²)이 높게 나타났는데, 이는 숲섬과 성산포 해역에서 감태와 무절산호조류가 우점한다는 이전의 연구 결과와 일치하였다(Oak et al., 2004). 수심별 우점종은 흑돌잎-감태(5 m), 누운청각-감태(10 m)로서 감태가 수심 5-10 m에서 우점하는 것으로 확인되었으며, 수심 20 m에서는 그늘진 조하대 암반이나 어두운 곳과 같은 약한 광에서 생육하는 것으로 알려진 자루바다표고가 우점하였다.

수온은 해조류의 수평분포를 결정하는 중요한 환경요인으로 알려져 있으며(van den Hoek, 1982), 수온의 상승은 이들의 지리적 분포를 변화시킨다고 하였다(Tenger and Dayton, 1987; Serisawa et al., 2004). 제주 연안의 표층 수온은 지난 86년(1924-2009년) 동안에 약 1.94℃ 상승하였으나(Suh et al., 2011), 해조류 생물량에 대한 이전의 자료가 부족하여 수온상승과 해조군집 변화의 관계를 명확하게 설명한다는 것은 거의 불가능하다. 하지만, 제주에서 채취되는 해조류(툫, 우뭇가사리)

생산량과 수온 변동을 연계시켜 보면, 수온은 최근 20년(1991-2010년)에 약 0.64°C 상승하였고, 톱 생산량은 3,751톤(1990년)에서 360.6톤(2010년)으로 90%정도 감소하였으며, 우뚝가 사리는 동일 기간에 약 86% 감소하였다. Serisawa et al. (2004)은 일본 Tosa만에서 70년대 이전과 이후(80, 90, 2000년대) 수온이 지속적으로 상승하는 것을 확인하였고, 이로 인해 70년대 이전에 서식했던 감태 군락이 완전히 소멸하였음을 보고하였다. 또한, Kim (2006)은 수온 변동 추세가 현재 상태로 유지된다면 제주 연안의 주요종인 감태가 향후 10년 뒤에도 해중립을 형성할 수 있을지는 예측할 수 없으며, 이를 대체할 남방계 해조류의 탐색이 필요하다고 하였다. Kang (1966)은 수온, 조류 등 해황을 바탕으로 한국 연안을 5개 해역(북동해구, 남동해구, 동남해구, 서해구 및 제주구)으로 구분하였고, 제주구의 해조류 조성이 북방계 2%, 온대계 74%, 남방계 10% 및 범세계종 15%로 되어 있다고 하였다. 최근, Kang et al. (2011)이 우도의 해조상에서 남방계 해조류가 37.80% 출현한다고 밝혀 그 출현비율이 현저하게 증가하였다고 밝혔었다. Kang et al. (2011)이 사용한 방법(<http://www.algaebase.org>, Guiry and Guiry, 2013)으로 본 연구에서 출현한 해조류 중 남방계 해조류는 21종의 29.58%로 Kang et al. (2011)의 결과에 비해 다소 낮게 나타났으나, 특히, 얇은잎바위주걱(*Gloiocladia leptophylla*) 등 최근에 개체수가 증가한 아열대성 해조류가 관찰되었으며, 약 50년 이전에 수행된 Kang (1966)의 결과와 비교하면 남방계 해조류의 출현율이 증가되고 있다는 것은 사실이다.

결론적으로 본 연구가 수행된 제주도 4개 연안에서 서식하는 해조류는 총 71종이며, 가을에 가장 적은 출현종수를 보였다. 해조류의 연평균 생물량은 991.84 g wet wt/m²이며, 여름에 1,284.17 g/m²으로 가장 높게 나타났다. 생물량을 기준으로 한 우점종은 누운청각, 감태, 흑돌잎이었으며, 4정점 모두 생물량이 높게 나타난 감태가 제주도 연안의 대표적 주요종이라 할 수 있다. 이러한 해조류의 종조성 및 생물량은 이전의 제주 주변 해역의 연구 결과에 비해 다소 낮았으나 동·서·남해의 다른 정점들에 비해 높게 나타나 현재에도 제주도 해조류의 종다양성은 높다는 것이 확인되었다. 또한, 아열대성 남방계 해조류 출현율이 약 50년 이전에 비해 19-27%가 증가되는 것으로 확인되어 기후변화는 연안생태계의 기초생산자인 해조류의 생물다양성과 생물량 감소와 더불어 군집구조를 변화시킬 것으로 생각되므로 조사 정점에 대한 지속적인 모니터링 연구가 필요하다.

사 사

본 연구는 국립수산물연구원 아열대수산연구센터 수산시험연구사업「RP-2013-FR-054」의 지원에 의해 수행되었다.

참고문헌

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 Poll Bull* 55, 104-113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.023>.
- Belkin IM. 2009. Rapid warming of large marine ecosystems. *Prog Oceanogr* 81, 207-213. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pcean.2009.04.011>.
- Boo SM. 1988. Distribution of marine algae from shore area of Chejudo. *J Cheju Studies* 5, 97-114.
- Bray JR and Curtis JT. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol Monogr* 27, 325-349.
- Breeman AM and Pakker H. 1994. Temperature ecotypes in seaweed: adaptive significance and biogeographic implications. *Bot Mar* 37, 171-180.
- Carballo JL, Olabarria C and Osuna TG. 2002. Analysis of four macroalgal assemblages along the Pacific Mexican coast during and after the 1997-98 El Niño. *Ecosystems* 5, 749-760. <http://dx.doi.org/10.1007/s10021-002-0144-2>.
- Cha SH, Lee KW and Jeon YJ. 2006. Screening of extracts from red algae in Jeju for potentials marine angiotensin-I converting enzyme (ACE) inhibitory activity. *Algae* 21, 343-348.
- 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.
- Chung H, Cho KW, Chung KH, Kim JH, Shin J, Seo Y, Kang JS and Lee IK. 1998. Ecological characteristics of algal whitening in coastal zone of Seogwipo Area, Cheju Island. *Algae* 13, 361-374.
- Chung SH and Kim K. 2012. A Study on the Plans for Fostering the Marine Tourism in Jeju Island. Jeju Development Institute, Jeju, Korea, 1-227.
- Clarke KR and Gorley RN. 2006. PRIMER V6: user manual/tutorial. PRIMER-E Ltd, Plymouth, U.K., 1-190.
- Davenport J and Davenport JL. 2006. The impact of tourism and personal leisure transport on coastal environments: A review. *Est Coast Shelf Sci* 67, 280-292.
- Delgado O, Grau A, Pou S, Riera F, Massuti C, Zabala M and Ballerteros E. 1997. Seagrass regression caused by fish cultures in Fomells Bay (Menorca, Western Mediterranean). *Oceanol Acta* 20, 557-563.
- Díez I, Secilla A, Santolaria A and Gorostiaga JM. 1999. Phyto-benthic intertidal community structure along an environmental pollution gradient. *J Mar Pollut Bull* 38, 463-472.
- Fowler J and Cohen L. 1990. Practical Statistics for Field Biology. John Wiley & Sons, Inc., New York, U.S.A., 1-227.
- Guiry MD and Guiry GM. 2013. Algaebase. National University of Ireland, Galway, Ireland Available from: <http://www.algaebase.org>. on Apr 19, 2013.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Summary for policymakers, in Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental

- Panel on Climate Change, edited by S. Solomon et al., Cambridge Univ. Press, New York, U.S.A., 1-18.
- Kang JC, Choi HG and Kim MS. 2011. Macroalgal species composition and seasonal variation in biomass on Udo, Jeju Island, Korea. *Algae* 26, 333-342. <http://dx.doi.org/10.4490/algae.2011.26.4.333>.
- Kang JC and Kim MS. 2012. Seasonal variation in depth-stratified macroalgal assemblage patterns on Marado, Jeju Island, Korea. *Algae* 27, 269-281. <http://dx.doi.org/10.4490/algae.2012.27.4.269>.
- Kang JW. 1960. The summer algal flora of Cheju Island (Quelpart Island). *Bull Pusan Fish Coll* 3, 17-23.
- Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull Busan Fish Coll* 7, 1-125.
- Kim DK. 2006. A study on the restoration of marine forests using artificial reef in the barren grounds along the Coast of Jeju. Ph.D. Thesis, University of Jeju, Jeju, Korea.
- Kim IO and Rho HK. 1994. A study China coastal water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island. *J Kor Fish Soc* 27, 515-528.
- Kim MS, Kim M, Chung MH, Kim JH and Chung IK. 2008. Species composition and biomass of intertidal seaweeds in Chuja Island. *Algae* 23, 301-310.
- Kim YH. 1991. Marine algal resources in Cheju Island. *J Cheju Studies* 8, 137-156.
- Kim YH and Park SH. 1997. Succession pattern of intertidal benthic algal communities in Cheju Island. *Algae* 12, 23-30.
- Ko YW, Sung GH, Yi CH, Kim HH, Choi DM, Ko YD, Lee WJ, Koh HB, Oak JH, Chung IK and Kim JH. 2008. Temporal variations of seaweed biomass in Korean Coasts: Munseom, Jeju Island. *Algae* 23, 295-300.
- Lambshhead PJD, Platt HM and Shaw KM. 1983. The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity. *J Nat Hist* 17, 859-874.
- Lee KW. 1974. Survey of marine algal distribution and vegetation at marine laboratory of Cheju University near Seogwipo. *Cheju Univ J* 6, 269-284.
- Lee KW. 1976. Survey of the algal flora of Jeju Island. *Bull Mar Biol Stat Cheju Univ* 1, 21-42.
- Lee KW, Shon CH and Chung SC. 1998. Marine algal flora and grazing effect of sea urchins in the coastal waters of Cheju Island. *J Aquaculture* 11, 401-419.
- Lee YP and Kang SY. 2002. A Catalogue of the Seaweeds in Korea. Cheju National University Press, Cheju, 1-662.
- Lee YP and Lee IK. 1976. On the algal community in the intertidal belt of Jeju Island 1. Algal community of spring season. *Korean J Bot* 4, 111-118.
- Lee YP and Lee IK. 1982. Vegetation analysis of marine algae in Jeju Island. *Proc Coll Nat Sci SNU* 7, 73-91.
- Lüning K. 1990. Seaweed: Their Environment, Biogeography and Ecophysiology. Wiley, New York, 1-527.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *Gen Syst* 3, 36-71.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature* 216, 168-169.
- Millar A. 2011. Macroalgae, New South Wales Department of Primary Industries, Sydney, January. http://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0009/378774/Macroalgae-Primefact-947.pdf.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA). 2010. Standard methods of marine environment in Korea.
- Oak JH, Keum YS, Hwang MS and Oh YS. 2004. Subtidal algal community of Supseom and Seongsanpo in Jeju Island. *Underwater Sci Tech* 5, 3-9.
- Oh YS, Lee IK and Boo SM. 1990. An annotated account of Korean economic seaweeds for food, medical and industrial uses. *Kor J Phycol* 5, 57-71.
- Orfanidis S, Panayotidis P and Stamatis N. 2001. Ecological evaluation of transitional and coastal and water; A marine benthic macrophytes-based model. *Medit Mar Sci* 2, 45-65.
- Park SH, Lee YP, Kim YH and Lee IK. 1994. Qualitative and quantitative analyses of intertidal benthic algal community in Cheju Island 1. Species composition and distributional patterns. *Korean J Phycol* 9, 193-203.
- Parsons TR, Maita Y and Lalli CM, 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford, U.K., 1-173.
- Seong KT, Hwang JD, Han IS, Go WJ, Suh YS and Lee JY. 2010. Characteristic for long-term trends of temperature in the Korean Waters. *J Korean Soc Mar Environ Saf* 16, 353-360.
- Serisawa Y, Imoto Z, Ishikawa T and Ohno M. 2004. Decline of the *Ecklonia cava* population associated with increased seawater temperature in Tosa Bay, southern Japan. *Fish Sci* 70, 189-191. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0919-9268.2004.00788.x>.
- Sokal RR and Rohlf FJ. 1995. Biometry. 3rd edn W.H. Freeman, New York, U.S.A., 1-887.
- 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. *Kor J Fish Aquat Sci* 44, 524-532. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2011.0524>.
- Suh YS, Hwang JD, Pang IC, Han IS, Jo JD and Lee NK. 2011. Long-term variations of sea surface temperature in inshore and offshore waters of Jeju Island. *Korean J Nat Con* 5, 135-140.
- Tenger MJ and Dayton PK. 1987. El Niño effects on southern California kelp forest communities. *Advances Ecol Res* 17, 243-279.
- Terawaki T, Hasegawa H, Arai S and Ohno M. 2001. Management-free techniques for restoration of *Eisenia* and *Ecklonia* beds along the central Pacific coast of Japan. *J Appl Phycol* 13, 13-17. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008135515037>.
- van den Hoek C. 1982. 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.

- Wells E, Wilkionson 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>.
- Yang MH, Moon TS, Yu JT, Ko JC and Chang DS. 2007. Species appearance and seasonal variation of macrobenthic invertebrate in the coastal water of Chagwi-do, Jeju-Island. *Korean J Malacol* 23, 235-243.
- Yoo JS. 2003. Community dynamics of benthic marine algae in the intertidal and subtidal rocky shore of Samyang, Jeju Island. *Algae* 18, 301-309.
- Yoon CT. 1985. Flora of marine algae in Cheju Island. MSc Thesis, Jeju National University, Jeju, Korea, 1-31.