

## 한국 남해안 한려해상국립공원의 계절별 해조상 및 군집구조 변화

오지철 · 안중관 · 김철도 · 정장방<sup>1</sup> · 최한길<sup>2\*</sup>

국립공원관리공단 국립공원연구원 해양연구센터, <sup>1</sup>국립공원관리공단 변산사무소, <sup>2</sup>원광대학교 생명과학부/기초자연과학연구소

### Seasonal Variations in the Macroalgal Flora and Community Structure in Hallyeohaesang National Park on the South Coast of Korea

Ji Chul Oh, Jung Kwan Ahn, Cheol Do Kim, Jang Bang Jeong<sup>1</sup> and Han Gil Choi<sup>2\*</sup>

Marine Research Center, National Park Reserch Institute, Korea National Park Service, Yeosu 59769, Korea

<sup>1</sup>Byeonsanbando National Park Office, Korea National Park Service, Buan 15627, Korea

<sup>2</sup>Faculty of Biological Science and Institute for Basic Science, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

Seasonal variability in the marine seaweed community structure was examined in the intertidal zones at nine study sites in Hallyeohaesang National Park, on the southern coast of Korea from March to October 2014. A total of 145 seaweeds were identified, comprising 15 green, 41 brown and 89 red algae. Coarsely branched seaweeds were the dominant functional group, comprising 58.95% in species number, whereas filamentous, sheet, thick leathery, crustose and jointed calcareous forms comprised 2.63-17.72% each. The seaweed biomass averaged 358.00 g dry wt/m<sup>2</sup> and it was maximal at Somaemuldo (847.64 g dry wt/m<sup>2</sup>) and minimal at Gamam (56.51 g dry wt/m<sup>2</sup>). Based on biomass, the dominant and subdominant seaweeds were *Ulva australis* at Gamam, *Sargassum thunbergii* at Sangju, *Ulva australis* and *S.fulvellum* at Neukdo, *S.horneri* at Dala-Bijindo-Somaemuldo, *S. thunbergii* at Dapo, and *Coralina pilulifera* at Songdo. Community indices were as follows: dominance index (DI), 0.43-0.71; richness index (R), 8.26-16.50; evenness index (J'), 0.36-0.54; and diversity index (H'), 1.57-2.19. In conclusion, we found that both biomass and the community structure of seaweeds in Hallyeohaesang National Park were similar to those in other studies of the Southern Sea along the Korean peninsula, and that Hallyeohaesang National Park is a relatively favorable habitat for seaweeds. Future studies should examine the changes in seaweed composition and biomass as they relate to climate change and environmental pollution.

Key words: Biomass, Community structure, Seaweed, Hallyeohaesang National Park

### 서론

지구온난화로 인한 수온 상승과 초식자인 성게류의 증가로 인하여 세계적으로 600,000 km<sup>2</sup>의 면적을 차지하며 연간 4억 6천만 톤의 탄소를 흡수하는 대형해조류로 구성된 바다숲이 지속적으로 감소되고 있는 실정이다(Muraoka, 2004; Harley et al., 2012; Ordoñez et al., 2014). 대형해조류를 포함하는 해조류는 해초류, 식물성플랑크톤과 함께 해양생태계의 중요한 일차생산자로서 영양염 순환, 탄소순환, 어류 및 무척추동물물을 포함한 다양한 해양생물의 은신처, 산란장 및 먹이장으로서 생태학적 기능을 수행한다(Lindstrom, 2009; Whitaker et al., 2010). 이

러한 연유로 해조류는 연안생태계에서 먹이사슬의 상층에 있는 해양생물의 종다양성과 풍부도 및 어장형성에 영향을 미친다(Wan et al., 2009; Janiak and Whitlatch, 2012; Satheesh and Wesley, 2012). 또한, 해조류는 연안의 도시화와 산업화로 인해 해양에 투기되는 유기 및 무기 오염물을 제거하는 생물여과자(biofilter) 뿐만 아니라, 연안환경을 모니터링하는 생물지표자(biological indicator)로도 사용되고 있다(Worm et al., 2000; Wells et al., 2007; Scherner et al., 2013).

연안생태계의 일차생산자인 해조류의 군집은 인간활동에 기인한 다양한 환경스트레스(교란, 퇴적, 영양염 유입 등)로 인하여 생산성이 높은 수관부 형성(canopy-forming) 해조류에서

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0768>



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

Korean J Fish Aquat Sci 48(5) 768-775, October 2015

Received 3 July 2015; Revised 12 October 2015; Accepted 12 October 2015

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

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

생산성이 낮은 덩불형성(turf-forming) 해조류로 단계적 변이(phase shift)가 일어나고(Kraufvelin et al., 2010), 종다양성 감소, 홍조류와 갈조류의 출현종수(출현종 비율) 감소, 그리고 생물량과 피도의 감소가 일어나며(Whitaker et al., 2010), 반대로 기회종인 녹조류의 생물량이 증가되는 등 점진적 변화가 발생한다(Arévalo et al., 2007; Pinedo et al., 2007; Wells et al., 2007). 인간 유래의 환경변화로 인한 해조상과 군집구조에 관한 연구는 전 세계적으로 활발하게 수행되고 있으며, 최근에는 지구온난화로 인한 수온상승과 해양산성화도 해조류의 생장, 분포 및 군집 구조에 영향을 미치는 것으로 확인되고 있다(Augtyé and Shaughnessy, 2014). 따라서, 해조류의 종다양성과 군집구조에 대한 자료를 축적하는 것이 절실하게 필요한 실정이다(Orfanidis et al., 2001; Diaz-Pulido et al., 2011; Roleda et al., 2012).

우리나라 남해안 해안선은 굴곡이 심하고, 크고 작은 섬들로 구성되어 있을 뿐 만 아니라 해류, 수온, 염분, 수심, 영양염 및 탁도 등이 달라서 매우 복잡한 환경적 특성을 나타내며(Kang, 1966; Choi, 1992), 쿠로시오 난류의 영향으로 해조류의 식생이 풍부하고 생육하는 해조류의 종조성이 상이하야 보다 세밀하고 집중적인 연구가 필요한 해역이다(Sohn, 1987). 한국 남해안의 해조류에 대한 연구는 Kang (1966)의 “한국산 해조류의 지리적 분포”를 시작으로 해조상(Song et al., 1970; Kang and Lee, 1979; Oh et al., 2002; Choi, 2008), 생물량(Choi, 2008; Kim et al., 2008)과 수직분포(Hwang et al., 1997; Kwak and Huh, 2009)에 관한 많은 연구가 수행되었다. 특히, Choi (2008)는 2005년에 한려해상국립공원 내 24개 정점의 1-2회 조사에서 해조류 89 종을 동정하였고 수직분포를 기록하였으며, 7개 정점에서 우점종과 생물량을 보고하였다.

남해안 한려해상국립공원은 화려한 경관과 해수욕장이 잘 발달되어 관광객이 증가하면서 유·무기 오염물의 해양 투기량도 급증하고 있으며, 환경변화가 심한 지역이다(Choi, 2008; Ahn et al., 2013). 이러한 한려해상국립공원의 건강한 연안생태계 유지를 위하여 일차생산자의 보존 및 복원을 위해 기초자료 확보가 매우 중요한 시점이다. 따라서, 본 연구는 한려해상국립공원 내 서식하는 해조류의 생태학적 특성과 군집특성을 파악하기 위해 해조상, 우점종과 생물량의 계절적 변화양상을 파악하고 10년 전에 수행된 연구결과와 비교하여 환경변화와 해조류 군집구조 변화의 관계를 고찰하였다.

### 재료 및 방법

한려해상국립공원 내 9개 정점에서 2014년 3월(동계), 5월(춘계), 8월(하계), 10월(추계)에 계절별로 최 간조기에 해조류를 정량 및 정성 채집 하였다(Fig. 1). 정량조사는 조간대 상·중·하부 및 조하대 상부에 각 2-3개의 방형구(50 cm×50 cm)를 무작위적으로 놓고 방형구 내에 존재하는 해조류를 전량 채집하였으며, 해조상을 파악하기 위하여 다양한 기질과 조위에서 서식하는 모든 해조류를 정성 채집하였다. 채집된 해조류는 포르말린-해수 용액(5-10%)으로 현장에서 고정시켜 실험실로 운반한 후 현미경을 사용하여 분류 및 동정하였으며, 출현종 목록 및 국명은 Lee and Kang (2002)에 따랐다. 해조류의 기능형은 출현종의 외부형태, 내부구조, 광합성효율 등에 따라 엽상형(sheet form), 사상형(filamentous form), 성긴분기형(coarsely branched form), 다육질형(thick leathery form), 유절산호말형(jointed calcareous form), 각상형(crustose form)의 6개 그룹으로 구분하였다(Littler and Littler, 1984). 해조상의 특성을 파악

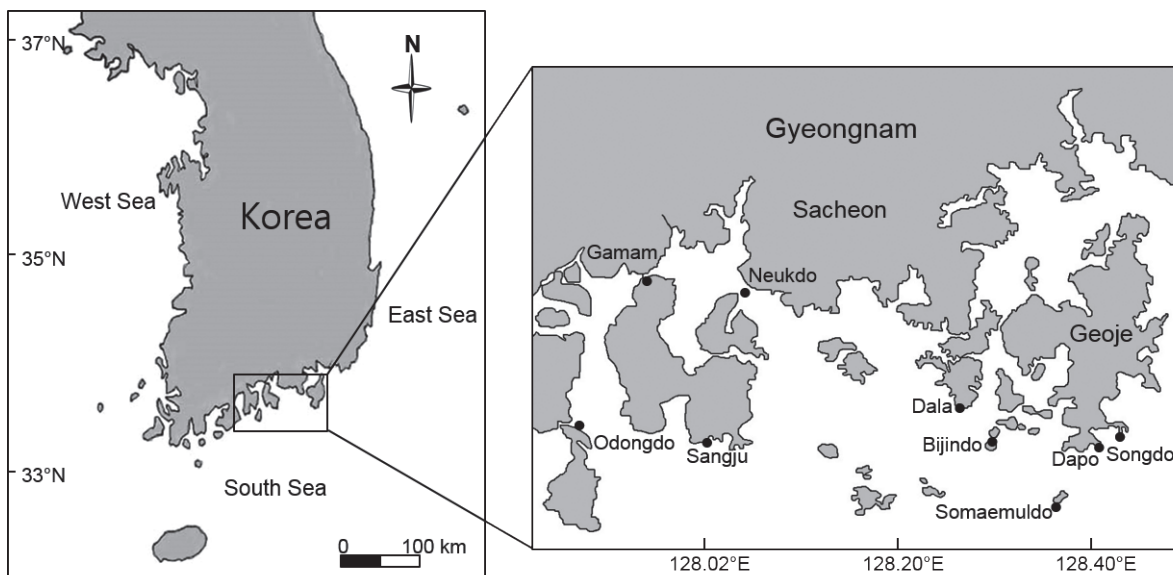


Fig. 1. A map of study sites and the location of Hallyeohaesang National Park in Korea.

하기 위하여 정성 채집된 해조류를 분류 및 동정 후 출현종수로 갈조류에 대한 녹조류의 비(C/P), 갈조류에 대한 홍조류 비(R/P), 갈조류에 대한 녹조류 및 홍조류의 비로 (R+C)/P를 구하였다(Feldmann, 1937; Segawa, 1956; Cheney, 1977).

정량 채집된 해조류는 담수로 수회 세척하여 모래와 불순물을 제거하고, 종별로 구분하여 105°C로 설정된 건조기에서 24-48 h 동안 건조한 후 건조량을 측정하였고 단위면적당 생물량(g dry wt/m<sup>2</sup>)으로 환산하였다. 해조류 종별 생물량 평균값과 단위면적당 생물량 구성비(%)를 구하여 생물량 구성비가 30% 이상인 종은 우점종으로, 10-30%인 종은 준우점종으로 구분하였다(Kim et al., 1995; Kim et al., 1997). 또한, 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 출현종 유·무를 정점간 유사도를 분석하였으며, 그룹간 유의차는 SIMPROF (similarity profile) test로 검정하였다. 또한, 그룹간 유의차가 확인되면 SIMPER (similarity percentage) 분석을 실시하여 각 그룹간 비유사도(dissimilarity)에 기여하는 종을 확인하였다. 군집지수의 산출 및 도식화에는 PRIMER version 6 (Clarke and Gorley, 2006)을 사용하였다.

### 결 과

#### 종조성

본 연구기간에 한려해상국립공원 내 9개 정점에서 출현한 해조류는 녹조류 15종, 갈조류 41종, 홍조류 89종이었으며, 홍조류는 전체 출현종인 145종의 61.38%를 차지하여 녹조류와 갈조류에 비해 출현빈도가 높았다. 계절별 출현종수는 동계에 100종으로 최대였고 춘계에 92종, 하계에 88종, 추계에 81종으로 가장 적었다(Table 1). 한려해상국립공원 9개 정점에서 연중 관찰되는 해조류는 구멍갈파래(*Ulva australis*), 불레기말(*Colpomenia sinuosa*), 미역(*Undaria pinnatifida*), 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 지층이(*S. thunbergii*), 우뚝가사리(*Gelidium amansii*), 애기우뚝가사리(*G. divaricatum*), 애기돌가사리(*Chondracanthus intermedius*), 돌가사리(*C. tenellus*),

진두발(*Chondrus ocellatus*), 부켓살(*Ahnfeltiopsis flabelliformis*), 개도박(*Grateloupia lanceolata*), 마디잘록이(*Lomentaria catenata*), 애기마디잘록이(*L. hakodatensis*)와 개서실(*Chondria crassicaulis*)로 총 15종이었다.

해조류 출현종 유·무를 근거로 하여 9개 정점의 유사도를 분석하여 보면, 그룹 A (달아, 감암, 오동도, 녹도)와 그룹B (상주, 다포, 비진도, 소매물도, 송도)로 구분되었으며, 그룹 A는 여수-남해 지역, 그룹B는 통영-거제 지역으로 지역적 차이를 보였다(Fig. 2). 그룹간 차이는 57.47%로 통계적 유의차를 보였다(SIMPROF test, P<0.05). 그룹 A와 B를 구분하는데 기여도가 높은 종은 바위수염(*Myelophycus simplex*), 개우무(*Pterocladia capillacea*), 털엇가지풀(*Heterosiphonia pulchra*)과 혹서실(*Chondrophyucus undulatus*)로 확인되었다(SIMPER test).

#### 기능형군

한려해상국립공원 9개 정점에서 출현한 해조류 145종에서 성긴분기형이 71종(48.97%), 사상형이 32종(22.07%), 엽상형이 18종(12.41%), 다육질형이 14종(9.66%), 각상형이 6종(4.14%), 유절산호말형이 4종(2.76%)으로 구분되었다. 출현종수를 근거로 한려해상국립공원 해역에서 가장 우점하는 해조류 기능형군은 48.97%를 차지하는 성긴분기형이었다. 또한, 정점별로 기능형 해조류의 출현종수는 다르게 나타났으며, 성긴분기형은 23-49종으로 감암에서 최소였고 비진도에서 최대였으

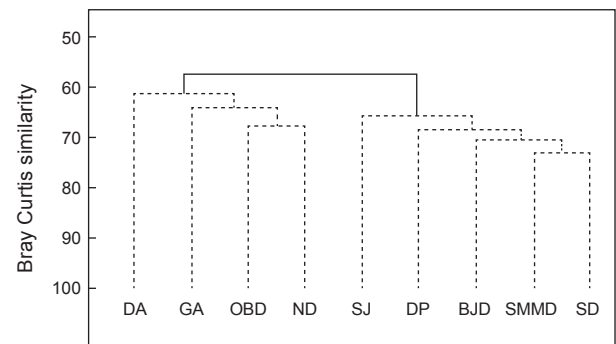


Fig. 2. Results of cluster analysis performed on Bray Curtis similarity from standard species presence/absence transformed data. The dotted lines indicate no significant difference among the study sites (SIMPROF test). See the abbreviation of islands in Table 1.

Table 1. The number of macroalgal species observed at Hallyeohaesang National Park, South coast of Korea

Taxon	OD	GA	SJ	ND	DA	BJD	SMMD	DP	SD	Total
Chlorophyta	5	5	6	5	5	11	6	6	6	15
Phaeophyta	16	9	24	10	11	26	27	17	18	41
Rhodophyta	36	28	55	31	30	52	47	31	47	89
Total	57	42	85	46	46	89	80	54	71	145

OD, Odongdo; GA, Gamam; SJ, Sangju; ND, Neukdo; DA, Dala; BJD, Bijindo; SMMD, Somaemuldo; DP, Dapo; SD, Songdo

며, 사상형은 5-18종으로 달아에서 최소였고 비진도에서 최대 로 확인되었다. 엽상형은 3-12종으로 다포에서 최소, 상주에서 최대였고, 다육질형(3-8종)은 감암, 녹도, 달아에서 최소, 소매 물도에서 최대로 나타났다. 각상형은 상주와 비진도에서 3종으 로 최대, 송도 2종, 소매물도 1종을 제외한 다른 정점에서는 확 인되지 않았다. 유절산호말형은 달아에서 채집되지 않아 최소 를 보였으며 상주에서 4종으로 최대였다(Fig. 3).

**생물량 및 우점종**

국립공원 내에 서식하는 해조류의 연평균 생물량(g dry wt/ m<sup>2</sup>)은 358.00 g/m<sup>2</sup>였고 소매물도에서 847.64 g dry wt/m<sup>2</sup> 로 최대였고 감암에서 56.51 g dry wt/m<sup>2</sup>로 최소였다. 계절별 생물 량은 9개 정점에서 평균 196.04-621.08 g dry wt/m<sup>2</sup>로 춘계에 최소였고 동계에 최대로 확인되었다. 정점별 생물량은 비진도 와 소매물도는 동계에 최대였고 이곳을 제외한 연구 정점에서 는 춘계에 최대였다. 오동도에서 생물량은 74.48-183.72 g dry wt/m<sup>2</sup>로 하계에 가장 낮았고 동계에 가장 높은 값을 보였다. 감 암 연안의 해조류 생물량은 추계에 최소(4.70 g dry wt/m<sup>2</sup>)였고 동계에 최대(153.37 g dry wt/m<sup>2</sup>)였으며, 상주에서는 142.02- 213.59 g dry wt/m<sup>2</sup>로 추계에 최소, 춘계에 최대였다. 녹도의 해 조류 생물량은 하계와 춘계에 9.47과 273.59 g dry wt/m<sup>2</sup>로 최 소와 최대 값을 기록하였다. 또한, 달아에서도 생물량은 43.59 g dry wt/m<sup>2</sup>으로 추계에 최소였고 춘계에 470.08 g dry wt/m<sup>2</sup> 로 최대로 나타났다. 비진도와 소매물도에서 생물량은 추계에 148.99 g dry wt/m<sup>2</sup>과 200.59 g dry wt/m<sup>2</sup>로서 최소였고 동계에 1,740.90 g dry wt/m<sup>2</sup>과 2,340.26 g dry wt/m<sup>2</sup> 으로 최대 를 보였으며, 다포와 송도에서는 동계에 116.88 g dry wt/m<sup>2</sup>과 474.19 g dry wt/m<sup>2</sup>로 최소였고 춘계에 452.88 g dry wt/m<sup>2</sup>과 910.08 g dry wt/m<sup>2</sup> 로서 최대로 확인되었다(Fig. 4).

해조류의 연평균 생물량의 구성비를 근거로 한 우점종(30% 이상)과 준우점종(10-30%)을 살펴보면, 오동도에서는 우점종 이 없었으며, 모자반류 3종과 작은구슬산호말이 준우점종이 없

으며, 감암에서는 구멍갈파래(35.45%)가 우점하였다. 상주에 서는 지층이가, 녹도에서는 구멍갈파래(35.17%)와 참모자반 (30.44 %, *S. fulvellum*)이 우점종으로 나타났다. 달아와 비진 도에서는 팽생이모자반이 전체 생물량의 49.30%와 58.76 %를 차지하였고 또한, 팽생이모자반은 소매물도에서도 51.30%를 그리고 동계에는 생물량의 74.26%를 보였다. 다포에서 우점종 은 생물량의 47.08%를 차지하는 지층이였고 송도에서는 홍조 류 작은구슬산호말(45.50 %)로 확인되었다(Table 2).

**군집지수**

해조류 생물량과 출현종수로 계산된 군집지수를 살펴보면, 한려해상국립공원의 우점도지수(DI)는 0.63였고 오동도에서 0.43으로 최소였고 소매물도와 송도에서 0.71로 가장 높았다. 풍부도지수(R)는 평균 11.13 (정점별 8.26-16.50)으로 나타났 으며 달아에서 최소였고 상주에서 최대였다. 출현종수와 생물 량에 따라 변화하는 균등도지수(J)는 정점별 평균 0.43을 보였 으며 소매물도에서 0.36으로 최소였고 오동도에서 0.54로 최 대를 보였다. 출현종수와 종간의 풍부도 데이터(생물량)의 분 포인 균등도지수에 의해 결정되는 다양도지수(H')는 균등도지 수와 동일하게 소매물도에서 최소(1.57), 오동도(2.19)에서 최 대값을 나타냈다. 해조상의 지역적 특성을 나타내는 C/P, R/P, (R+C)/P값은 각각 0.22-0.56, 1.74-3.11, 1.96-3.67의 범위로 소 매물도에서 최소였고 감암에서 최대값을 나타냈다(Table 3).

**고 찰**

한려해상국립공원 내 9개 정점에서 출현한 해조류는 총 145 종(녹조 15종, 갈조 41종, 홍조 89종) 이었으며, 정점별로 42-89 종으로 확인되었다. 인근 해역의 해조류 출현종수는 충무에서 69종(Kim, 1991), 통영에서 82종(Park et al., 2011), 진해만에서 45종(Kwak, 2009), 거문도에서 189종(Koh, 1990), 마산만 에서 42종(Kwak and Huh, 2009), 삼천포에서 84종(Kim et al.,

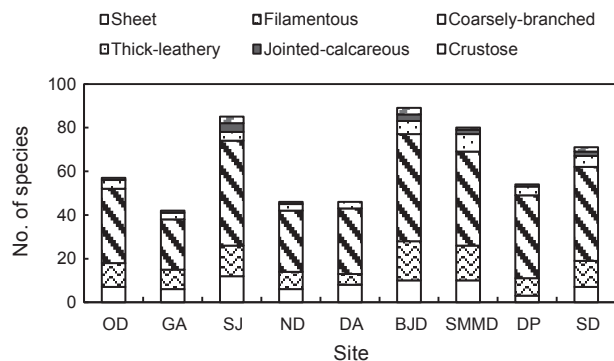


Fig. 3. Total species number of seaweed functional form group collected at the nine study sites of Hallyeohaesang National Park. See the abbreviation of islands in Table 1.

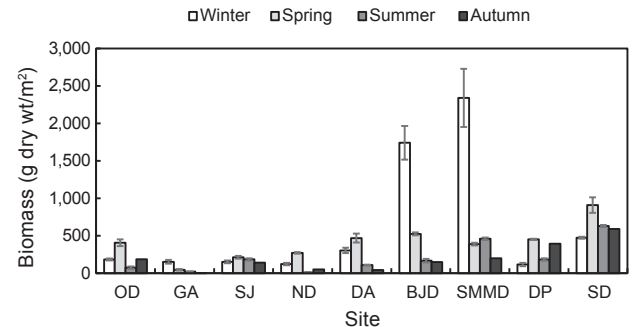


Fig. 4. Annual mean biomass (g dry wt/m<sup>2</sup>) in different seasons at nine study sites of Hallyeohaesang National Park, Korea from March to October 2014. Bar show standard errors (n=3 replicate) See the abbreviation of islands in Table 1.

Table 2. Dominant ( $\geq 30\%$ ) and subdominant (10-30%) species in terms of average biomass percentage (%) at nine study sites in Hallyeohaesang National Park, South coast of Korea

Site	Dominant and subdominant species
Odongdo	<i>Corallina pilulifera</i> (28.03), <i>Undaria pinnatifida</i> (15.11), <i>Sargassum thunbergii</i> (12.72), <i>Sargassum fulvellum</i> (12.20), <i>Sargassum horneri</i> (10.31)
Gamam	<i>Ulva australis</i> (35.45), <i>Sargassum horneri</i> (25.66), <i>Sargassum thunbergii</i> (24.49)
Sangju	<i>Sargassum thunbergii</i> (37.37), <i>Ishige okamurae</i> (18.92), <i>Sargassum fusiforme</i> (11.32)
Neukdo	<i>Ulva australis</i> (35.17), <i>Sargassum fulvellum</i> (30.44), <i>Gelidium divaricatum</i> (17.51)
Dala	<i>Sargassum horneri</i> (49.30), <i>Sargassum fusiforme</i> (15.56), <i>Chondrus ocellatus</i> (10.66)
Bijindo	<i>Sargassum horneri</i> (58.76)
Somaemuldo	<i>Sargassum horneri</i> (51.30), <i>Corallina pilulifera</i> (19.51), <i>Sargassum fusiforme</i> (14.40)
Dapo	<i>Sargassum thunbergii</i> (47.08), <i>Sargassum fusiforme</i> (18.57), <i>Corallina pilulifera</i> (12.73)
Songdo	<i>Corallina pilulifera</i> (45.50), <i>Sargassum thunbergii</i> (25.11), <i>Symphyocladia latiuscula</i> (11.76)

Table 3. Average biomass (g dry wt/m<sup>2</sup>) and various community indices of seaweeds at the nine study sites in Hallyeohaesang National Park, South coast of Korea

Community indices	OD	GA	SJ	ND	DA	BJD	SMMD	DP	SD
Biomass (g/m <sup>2</sup> )	213.53	56.51	173.55	114.00	231.94	645.90	847.64	287.40	651.57
Dominance index (DI)	0.43	0.61	0.56	0.66	0.65	0.69	0.71	0.66	0.71
Richness index (R)	10.44	10.15	16.50	9.50	8.26	13.60	11.72	9.31	10.70
Evenness index (J')	0.54	0.43	0.45	0.44	0.45	0.38	0.36	0.48	0.39
Diversity index (H')	2.19	1.60	1.99	1.68	1.72	1.69	1.57	1.93	1.64
C/P	0.31	0.56	0.25	0.50	0.45	0.42	0.22	0.35	0.33
R/P	2.25	3.11	2.29	3.10	2.73	2.00	1.74	1.82	2.61
(R+C)/P	2.56	3.67	2.54	3.60	3.18	2.42	1.96	2.18	2.94

C, Chlorophyta; P, Phaeophyta; R, Rhodophyta, See the abbreviation of islands in Table 1.

1986)으로 본 해역의 해조류 출현종수는 인근 해역에 비해 높은 수준이었다. 또한, Choi (2008)의 2005년 조사에서 한려해상국립공원에 89종의 해조류가 서식함을 보고하였는데, 본 연구에서는 56종이 더 많은 145종이 기록되었다. 이외에도 해조류 출현종수는 본 연구정점의 서쪽(서남해안)에 위치한 해남에서 87종(Oh et al., 2002), 진도에서 116종(Lee et al., 1983), 고흥군 무인도서에서 80종(Song et al., 2011), 신안군 우이도에서 41-139종(Kang et al., 1979; Choi et al., 1994), 완도군에서 하계에 146종(Lee and Boo, 1982)이 보고되었으며, 완도군 청산도의 3지역(당리, 진산리, 동촌리)의 조간대와 조하대에서 2계절(하계와 동계)에 출현한 해조류는 136종으로 기록되었고(Lee et al., 1991), 제주도 추자도(예초와 후포)에서는 162종이 서식하는 것으로 확인되었다(Kim et al., 2008). 따라서, 한려해상국립공원 해역에 서식하는 해조류 출현종수는 서남해 해역에 비해 높게 나타났고 이는 상대적으로 청정해역인 연구해역이 해조류 서식지로 적합한 환경이라고 할 수 있겠으나, 해조상은 환경변화, 채집방법 및 채집시기에 따라 달라지기 때문에 한려해상국립공원 해역의 해조류 종다양성에 대한 논의는 좀더 자료가 축

적된 후에 논의되어야 하며 효율적인 해조자원의 관리 및 변화를 모니터링하기 위한 연구 노력이 요구된다.

해조류는 생태학적 특성에 따라 다년생의 느린 성장을 나타내는 해조류인 다육질형, 성긴분기형, 유절산호말형, 각상형 해조류와 교란이나 환경오염 해역에서 빠른생장을 보이는 엽상형과 사상형 해조류로 구분되고 기능형군 구성비율은 해조류 서식 환경상태와 밀접한 관련을 보인다고 알려져 있다(Arévalo et al., 2007; Pinedo et al., 2007; Wells et al., 2007). 고흥군 4개 무인도서에서 출현한 해조류 53종을 기능형별로 구분하면, 성긴분기형 50.94%, 엽상형과 사상형이 각 16.98%, 유절산호말형과 각상형이 각 5.66%, 다육질형이 3.77%로 나타났으며(Song et al., 2011), 본 연구에서는 출현종 145종에서 성긴분기형이 58.95%, 사상형이 17.72%, 엽상형이 12.11%, 다육질형이 7.02%, 유절산호말형이 2.63%와 각상형이 1.58%의 순서로 나타났다. 이러한 연구 결과는 남해안에 서식하는 해조류의 기능형 군별 구성비가 성긴분기형, 사상형, 엽상형, 다육질형, 각상형, 유절산호말형의 순서로서 Sohn (1987)의 기록과 유사하였고 교란이나 환경오염 해역에서 번무하는 사상형과 엽상형은

Table 4. Floristic comparisons of marine seaweeds for several localities in South coast of Korea (Sp, Spring; Su, Summer; Au, Autumn; Wi, Winter)

Locality	Season	C	P	R	Total	C/P	R/P	(R+C)/P	Reference
Chongsando	Su, Wi	16	34	86	136	0.47	2.53	3.00	Lee et al., 1991
Chujado	Su	16	39	124	179	0.41	3.18	3.59	Lee et al., 1986
	Sp, Su, Au, Wi	15	47	100	162	0.32	2.13	2.45	Kim et al., 2008
Chungmu	Sp, Su, Au, Wi	9	19	41	69	0.47	2.16	2.63	Kim, 1991
Haenam-gun	Su	10	15	62	87	0.67	4.13	4.80	Oh et al., 2002
Hallyeohaesang	ND	10	30	49	89	0.74	1.91	2.64	Choi, 2008
	Sp, Su, Au, Wi	15	41	89	145	0.37	2.17	2.54	This study
Jindo-gun	Su	14	24	78	116	0.58	3.25	3.83	Lee et al., 1983
Jinhae Bay	Sp, Su, Au, Wi	6	10	29	45	0.60	2.90	3.50	Kwak, 2009
Geomundo	Sp, Su, Au	19	47	123	189	0.40	2.62	3.02	Koh, 1990
Goheung-gun	Su	13	19	48	80	0.68	2.53	3.21	Song et al., 2011
Masan Bay	Sp, Su, Au, Wi	5	8	29	42	0.63	3.63	4.25	Kwak, 2009
Samchonpo	Sp, Su, Au	8	19	57	84	0.42	3.00	3.42	Kim et al., 1986
Uido	Su	5	10	26	41	0.50	2.60	3.10	Kang et al., 1979
	ND	21	26	92	139	0.81	3.54	4.35	Choi et al., 1994
Tongyeong	Sp, Su, Au, Wi	10	25	47	82	0.40	1.88	2.28	Park et al., 2011
Wando-gun	Su	16	29	101	146	0.55	3.48	4.03	Lee and Boo, 1982

C, Chlorophyta; P, Phaeophyta; R, Rhodophyta; ND, No Data

약 30%로서 환경상태는 양호한 편이다.

본 연구에서 한려해상국립공원 내 해조류의 연평균 생물량은 358.00 g dry wt/m<sup>2</sup> 으로 감암에서 최소(56.51 g dry wt/m<sup>2</sup>)였고 소매물도에서 847.64 g dry wt/m<sup>2</sup> 으로 최대였다. 해조류 생물량은 전남 여수시 거문도 인근의 4개 정점(대삼부도, 서도, 동도, 고도)의 3계절(춘계, 하계, 추계) 조사에서 계절별로 83.32-169.16 g dry wt/m<sup>2</sup> (평균 121.48 g dry wt/m<sup>2</sup>)였으며(Koh, 1990), 고흥군 4개의 무인도서(내매물도, 칼도, 아래돛배섬, 진지외도)의 하계 생물량은 21.39-76.22 g dry wt/m<sup>2</sup> (평균 50.85 g dry wt/m<sup>2</sup>)을 보였고, 통영에서 4개 정점(덕포, 가조도, 칠전도, 예포)의 4계절 평균 생물량은 622.61 g wet wt/m<sup>2</sup>을 보였다(Park et al., 2011). 이외에도, 경남 옥지도 인근 해역에서 계절별로 2년간 수행된 조건대 조사에서 해조류 생물량은 235.30 g wet wt/m<sup>2</sup>으로(Choi et al., 2008), 금번에 조사된 한려해상국립공원 해역의 해조류 생물량은 다른 해역에 비해 상대적으로 높은 것으로 확인되었다. 선행연구에서 해조류 생물량은 습중량 혹은 건중량으로 기록되어 직접적인 비교는 어렵지만, 건중량(습중량의 1/5)으로 환산하면(Taniguchi, 1998), 한려해상국립공원 내 해조류 생물량은 다른 해역에 비해 높았으며, 추자도(예초, 후포)의 연평균 생물량(425.63 g wet wt/m<sup>2</sup>)과도 견주어 볼 만 하였다(Kim et al., 2008). 또한, 2005년에 Choi (2008)가 수행한 한려해상국립공원 7개 정점에서 해조류 생물량은 322.60-4,794.00 g wet wt/m<sup>2</sup> (평균 1,727.21 g wet wt/m<sup>2</sup>)로서 습중량을 건중량으로 환산하여 보면 생물량은 본 연구 결과

와 매우 유사하였다.

어떤 해역의 해조상의 특성을 분석하는데 있어서 홍조류와 갈조류의 비인 R/P값을 이용하여 보면 한대와 극지역에서 ≤1.0 이하, 온대에서 1.0-4.0, 열대해역은 ≥4.0 이상을 보였으며(Feldmann, 1937), 녹조류와 갈조류의 비(C/P) 값은 한대해역에서 아열대해역에 걸쳐 0.4-1.5범위의 값을 나타낸다고 하였다(Segawa, 1956). Cheney (1977)는 홍조류와 녹조류의 합과 갈조류의 비인 (R+C)/P값에 따라, 온대성 내지 한대성(<3), 혼합성(3-6), 열대성(>6) 해조상의 특징을 나타낸다고 하였다. 본 연구에서는 C/P값이 0.22-0.56, R/P값은 1.74-3.11, Cheney (1977)의 비율인 (R+C)/P값은 1.96-3.67로서 혼합된 해조상을 보였다. 경남 통영의 해조상 연구에서 C/P 값은 0.33-0.55로 한대해역을, R/P값은 1.52-3.27으로 혼합된 해조상을, (R+C)/P값은 1.90-3.82로서 한대에서 혼합성 해조상까지 다양한 형태를 보였다(Park et al., 2011). Choi (2008)의 연구결과, 한려해상국립공원의 24개 정점에서 C/P값은 0.74, R/P값은 1.91, (R+C)/P값은 2.64로서 C/P값을 제외한 R/P값과 (R+C)/P 값은 본 연구와 차이를 보였는데, 이러한 차이는 연구 정점의 위치와 수 및 채집시기 등의 차이 때문으로 사료된다.

한려해상국립공원 내의 해양서식지 보전 및 가치 증대를 위해서는 생태계의 기초생산자인 해조류의 종조성 및 군집구조에 대한 연구와 관리가 매우 시급한 실정이다. 현재, 남해안은 임해공단 조성 및 항만시설 확충 등의 연안개발로 많은 해역에서 해조류 군락이 황폐화되고 있으며, 종다양성이 감소하고 있다

(Lee and Kim, 1977; Koh, 1990; Choi, 1992; Choi, 2008; Ahn et al., 2013). 본 연구 결과는 한려해상국립공원 내 해조류 생물량과 해조류 군집은 남해 연안에서 수행된 선행 연구와 유사하게 나타남으로써(Choi et al., 2008), 아직까지 국립공원 연안의 해조류 군집은 양호한 상태로 평가되지만, 향후 기후변화와 환경오염은 해조류의 종조성과 생물량에 많은 영향을 미칠 것으로 생각된다. 따라서, 우리나라의 대표적인 관광지이고 자연생태계의 보고로 알려진 한려해상국립공원 내에 있는 수많은 도서 및 연안에 서식하는 해조류의 서식처 보호와 보전관리 방안이 마련되어야 할 것이다.

## 사 사

이 논문은 국립공원관리공단 국립공원연구원의 "2014 한려해상국립공원 자연자원조사" 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- Ahn JK, Kim BK, Jeong SJ, Choi IY and Jeong WO. 2013. Intertidal marine benthic flora in Eastern part of Hallyeohaesang National Park, Southern Coast of Korea. *J Nati Park Res* 4, 150-155.
- 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>.
- Augyté S and Shaughnessy FJ. 2014. A floristic analysis of the marine algae and seagrasses between cape Mendocino, California and cape Blanco, Oregon, USA. *Bot Mar* 54, 251-263.
- Cheney DP. 1977. A new and improved ratio for comparing seaweed floras. *Suppl J Phycol* 13, 129.
- Choi CG. 2008. Algal flora in Hallyeo-haesang national park southern coast of Korea. *J Kor Fish Soc* 41, 371-380.
- Choi CG, Kim JH and Chung IK. 2008. Temporal variation of seaweed biomass in Korean coasts: Yokjido, Gyeongnam Province. *Algae* 23, 311-316.
- 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 DS, Kim KY, Lee WJ and Kim JH. 1994. Marine algal flora and community structure of Uido Island, west-southern coast of Korea. *Korean J Environ Biol* 12, 65-75.
- Clarke KR and Gorley RN. 2006. PRIMER V6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E Ltd, Plymouth, UK.
- Díaz-Pulido G, Gouezo M, Tilvroom B, Dove S and Anthony KRN. 2011. High CO<sub>2</sub> enhances the competitive strength of seaweeds over corals. *Ecol Lett* 14, 156-162. [http:// dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01565.x](http://dx.doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01565.x).
- Feldmann J. 1937. Recherches sur la vegetation marine de la Mediterranee. La cote des Alberes. *Rev Algol* 10, 1-339.
- Fowler J and Cohen C. 1990. *Practical Statistics for Field Biology*. John Wiley and Sons, New York, U.S.A., 1-227.
- Harley CDG, Anderson KM, Demes KW, Jorve JP, Kordas RL and Coyle TA. 2012. Effects of climate change on global seaweed communities. *J Phycol* 48, 1064-1078. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1529-8817.2012.01224.x>.
- Hwang EK, Park CS, Koh NP and Sohn CH. 1997. Benthic marine algal communities of Shinjido, southern coast of Korea. *J Kor Fish Soc* 30, 574-584.
- Janiak DS and Whitlatch RB. 2012. Epifaunal and algal assemblages associated with the native *Chondrus crispus* (Stack house) and the non-native *Grateloupia turuturu* (Yamada) in eastern Long Islands Sound. *J Exp Mar Biol Ecol* 413, 38-44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2011.11.016>.
- Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull Pusan Fish Coll* 7, 1-136.
- Kang JW and Lee JH. 1979. The marine algal flora of Geojedo area. *Rep KACN* 14, 93-101.
- Kang JW, Sohn CH and Lee JH. 1979. The summer marine algal flora of Uido and Maeseom, southwestern coast of Korea. *Rep KACN* 16, 95-107.
- Kim EA, Lee HB and Lee IK. 1986. Marine algal vegetation of Samchonpo, south coast of Korea. *Korean J Bot* 29, 175-783.
- Kim NG. 1991. Benthic marine algal flora in Chungmu area in the southern coast of Korea. *Bull Tong-Yeong Fish Tech Coll* 27, 118-136.
- 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, Nam KW and Sohn CH. 1997. Intertidal benthic marine algae at Chumunjin on the East coast Korea: Flora, distribution and community structure. *Algae* 12, 117-130.
- Kim YH, Yoon HJ and Yoo JS. 1995. Species composition and biomass of marine algal community on the mid-Western coast of Korea. *J Plant Biol* 38, 389-398.
- Koh NP. 1990. An ecological study on resources of marine plants in Geomundo islands. *Korean J Phycol* 5, 1-37.
- Kwak SN. 2009. Marine benthic algal community at intertidal zone in Jinhae Bay. *J Kor Soc Mar Environ Saf* 15, 99-104.
- Kwak SN and Huh SH. 2009. Species composition and distribution patterns of marine benthic algae at intertidal zone in Masan bay. *J Kor Soc Mar Environ Saf* 15, 179-185.
- Lee IK, Lee HB and Boo SM. 1983. A summer marine algal flora of islands in Jindo-gun. *Rep Sur Natur Environ Korea* 3, 293-311.
- Lee IK and Boo SM. 1982. A summer marine algal flora of islands in Wando-kun. *Rep Sur Nat Environ Korea* 2, 209-227.
- Lee IK, Choi DS, Oh YS, Kim GH, Lee JW, Kim KY and Yoo

- JS. 1991. Marine algal flora and community structure of Chongsando island on the South Sea of Korea. Korean J Phycol 6, 131-143.
- Lee IK, Lee H-B and Lee IK. 1983. A summer marine algal flora of islands in Jindo-gun. Rep. Survey Natur Environ Korea 3, 293-311.
- Lee IK and Kim YH. 1977. A study on the marine algae in the Kwang Yang Bay. 3. The marine algal flora. Proc Coll Natur Sci SNU 2, 113-153.
- Lee YP and Kang SY. 2002. A Catalogue of the Seaweeds in Korea. Jeju National University Press, Jeju, Korea.
- Lindstrom SC. 2009. The bioeography of seaweeds in south east Alaska. J Biogeogr 36, 401-409.
- Littler MM and Littler DS. 1984. Relationships between macroalgal functional form groups and substrate stability in a subtropical rocky intertidal system. J Exp Mar Biol Ecol 74, 13-34.
- 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.
- Muraoka D. 2004. Seaweed resources as a source of carbon fixation. Bull Fish Res Agen 1, 59-63.
- Oh BG, Lee JW and Lee HB. 2002. A summer marine benthic algal flora and community of uninhabited islands in haemamgun, southern coast of Korea. J Kor Fish Soc 35, 57-63.
- Ordoñez A, Doropoulos C and Diaz-Pulido G. 2014. Effects of ocean acidification on population dynamics and community structure of crustose coralline algae. Biol Bull 226, 255-268.
- Orfañidis S, Panayotidis P and Stamatis N. 2001. Ecological evaluation of transitional and coastal waters: A marine benthic macrophytes-based model. Mediterr Mar Sci 2, 45-65. <http://dx.doi.org/10.12681/mms.266>.
- Park MS, Yoo HI, Heo JS, Kim YD and Choi HG. 2011. Seasonal variation in the marine algal flora and community structure along the Tongyeong Coast, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 44, 732-739. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2011.0732>.
- Pinedo S, Garcia M, Satta MP, Torres M and Ballesteros E. 2007. Rocky shore communities as indicators of water quality; a case study in the north-western Mediterranean. Mar Poll Bull 55, 126-135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.044>.
- Roleda MY, Morris JN, McGraw CM and Hurd CL. 2012. Ocean acidification and seaweed reproduction: Increased CO<sub>2</sub> ameliorates the negative effect of lowered pH on meiospore germination in the giant kelp *Macrocystis pyrifera* (Laminariales, Phaeophyceae). Global Change Biol 18, 854-864. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02594x>.
- Satheesh S and Wesley SG. 2012. Diversity and distribution of seaweeds in the Kudankulam coastal waters, south-eastern coast of India. Biodivers J 3, 79-84.
- Schermer H, Horta PA, de Oliveira EC, Simonassi JC, Hall-Spencer JM, Chow F, Nunes JMC and Pereira SMB. 2013. Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic. Mar Pollut Bull 76, 106-115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.09.019>.
- Segawa S. 1956. Colored Illustrations of the Seaweeds of Japan. Osaka, Pub. Co., LTD., Japan.
- Sohn CH. 1987. Phytogeographical characterization and quantitative analysis of algal communities in Korea. Ph. D. Thesis. Chonnam National Univ., Kwangju, Korea, 1-111.
- Song JN, Park SK, Heo JS, Kim BY, Yoo HI and Choi HG. 2011. Summer seaweed flora and community structure of uninhabited islands in Goheung, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 44, 524-532.
- Song SH, Choi JS and Sohn CH. 1970. Summer algal flora at Odongdo, Yeosu. Thesis Collect. Yeosu Fish Tech Coll 4, 18-28.
- Taniguchi K. 1998. From *Isoyake* to Kelp forest. Shokabo, Tokyo, Japan, 196.
- Wan XO, Park HH, Yoo HI and Choi HG. 2009. Temporal variations in seaweed biomass and coverage in Korean coasts: Ongdo, Chungnam. Fish Aquat Sci 12, 130-137.
- Wells E, Wilkinson M, Wood P and Scanlan C. 2007. The use of macroalgal species richness and composition on intertidal rocky seashores in the assessment of ecological quality under the European water framework directive. Mar Pollut Bull 55, 151-161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.031>
- Whitaker SG, Smith JR and Murray SN. 2010. Reestablishment of the southern California rocky intertidal brown alga, *Silvetia comperessa*: An experimental investigation of techniques and abiotic and biotic factors that affect restoration success. Restoration Ecology 18, 18-26. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00717.x>
- Worm B, Lotze HK and Sommer U. 2000. Coastal food web structure, carbon storage, and nitrogen retention regulated by consumer pressure and nutrient loading. Limnol Oceanogr 45, 339-349.