

한국 남서해안 관매도와 영산도의 해조상 및 군집구조

한수진 · 전다빈 · 이정록 · 나연주 · 박서경 · 최한길*

원광대학교 생명과학부/기초자연과학연구소

Marine Algal Flora and Community Structure at Gwanmaedo and Yeongsando, Korea

Su Jin Han, Da Vine Jeon, Jung Rok Lee, Yeon Ju Na, Seo Kyoung Park and Han Gil Choi*

¹Faculty of Biological Science and Institute of Basic Natural Science, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

Seasonal variations in seaweed communities were examined at Gwanmaedo and Yeongsando, Korea, from May 2014 to February 2015. Eighty-nine species were identified, including 11 green, 20 brown and 58 red algae. Seventy-three and 74 species were identified at Gwanmaedo and at Yeongsando, respectively. *Sargassum thunbergii* and *Myelophycus simplex* were the dominant species, comprising 60.89 and 39.50% of total biomass, respectively, and *S. fusiforme* was subdominant at the two sites. Of six functional seaweed forms, the coarsely-branched form was the most dominant, forming about 43% of the species number at Gwanmaedo and Yeongsando. Seasonal seaweed biomasses ranged between 53.10 and 172.85 g/m² (average 93.57 g dry wt./m²) and between 83.11 and 176.20 g (138.21 g/m²) at Gwanmaedo and Yeongsando, respectively. The vertical distribution from the high to low intertidal zone was *S. thunbergii* and *Gloiopeltis furcata*; *M. simplex* and *S. thunbergii*; and *S. fusiforme* at Gwanmaedo. Seaweed zonation was distinct at Yeongsando, with *S. thunbergii* and *Gelidiophycus freshwateri*; *M. simplex* and *S. thunbergii*; and *S. thunbergii* and *S. fusiforme*. Seaweed biomass, evenness index (J'), and diversity index (H') values were greater at Yeongsando (138.21 g/m², 0.51, 2.18 respectively) than at Gwanmaedo (93.57 g/m², 0.48, 2.04), indicating that the seaweed community at Yeongsando is more stable than that at Gwanmaedo.

Key words: Biomass, Community structure, Seaweed, Gwanmaedo, Yeongsando

서론

온대 해역의 암반에 서식하는 해조류는 전 세계적으로 생산성이 가장 높은 일차생산자로서 어패류와 갑각류를 포함한 다양한 해양생물의 은신처, 산란장, 생육장 및 먹이장과 같은 생태학적 기능을 수행함으로써, 연안생태계에서 상위 먹이사슬 단계에 있는 해양생물의 종다양성, 풍도 및 어장 형성에 많은 영향을 준다(Lindstorm, 2009; Janiak and Whitlatch, 2012; Satheest and Wesley, 2012; Liang et al., 2014). 또한, 해조류는 다양한 종이 직접 식용되거나, agar와 carrageenan과 같은 해조산업의 원료 및 의약품의 원료로서 경제적 가치가 높은 생물자원 중 하나이다(Vandendriessche et al., 2006; Silva et al., 2012; Nadja et al., 2013). 이외에도, 해조류는 연안의 도시화와 산업화로 인

해 해양에 투기되는 무기 및 유기 오염물을 제거하는 생물여과자(biofilter)와 생태계의 안정성을 유지하고 연안의 환경을 모니터링하는 생물학적 지시자(biological indicator)로 사용되고 있다(Wells et al., 2007; Bernecker and Wehrmann, 2009; Schermer et al., 2013).

이처럼 해조류는 생태학적 및 경제적 가치가 높음에도 불구하고 인간활동은 연안환경의 화학 및 생물학적 상태를 변화시켜 종다양성과 생물량, 피도 감소, 그리고 서식하는 해조류의 출현종 수를 지속적으로 감소시킨다(Parker et al., 2001; Wells et al., 2007; Wagdy et al., 2015). 인간 활동에 유래한 교란이나 영양염이 유입되는 연안역에서는 생산성이 높은 수관부 형성(canopy-forming) 켈프종에서 생산성이 낮은 덩불형성(turf-forming) 해조류 혹은 기회성 녹조류인 갈파래류(*Ulva* spp.)와

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0053>



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 49(1) 053-060, February 2016

Received 16 January 2016; Revised 21 February 2016; Accepted 22 February 2016

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

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

대마디말류(*Cladophora* spp.)가 우점하는 군집구조로 빠르게 변화한다(Eriksson et al., 2002; Arévalo et al., 2007; Pinedo et al., 2007; Kraufvelin et al., 2010; Whitaker et al., 2010).

우리나라 서해안은 리아스식 해안을 따라 경성 및 연성 조건대, 하구, 만 등 다양한 환경으로 구성되어 있으며, 조수간만의 차이가 크고, 개펄로 구성된 저질로 인하여 부유성 물질이 많아 탁도가 높은 것으로 알려져 있다(Jung et al., 2010; Yang and Kim, 2009). 한국 서해안에 관한 기존 연구에는 Kang (1966)의 “한국산 해조류의 지리적 분포”에서 140여종으로 정리함을 시초로 하여, Choi (1990)의 “전라남도 해조류의 목록”에서 전라남도에 생육하는 해조류가 416종으로 우리나라 전 연안에 생육하는 전체 해조류의 62%를 차지한다고 하였다. 이외에도 조건대 암반의 해조상, 기능형별 분석, 생물량, 다양도 지수 등 다양한 생태적 분석이 시도되었으나 생물량과 수직분포에 대한 연구는 일부 해역에 집중되었고(Lee et al., 2000; Lee et al., 2007a; Yoo et al., 2007), 도서의 해조상과 생물량에 관한 연구는 백령도(Back et al., 2007), 외조도와 주삼도(Choi, 2008), 어청도(Kim et al., 2013) 등 일부 도서에서만 국한되어 수행되었다.

다도해해상국립공원에 위치한 영산도와 관매도는 화려한 경관과 잘 발달된 해수욕장으로 인하여 관광객이 꾸준히 증가하고 있어, 건강한 연안 생태계 유지를 위하여 일차생산자인 해조류 군집의 보존 및 복원을 위한 기초자료 확보가 매우 중요한 시점이다. 따라서, 본 연구는 영산도와 관매도 연안의 생태학적 특성과 생물자원의 해조류의 군집 특성을 파악하기 위하여 해조상, 우점종, 수직분포와 생물량의 계절적 변화양상을 밝히고자 하였다.

재료 및 방법

전라남도 진도군 조도면 관매도와 신안군 흑산면 영산도에서 2014년 5월부터 2015년 2월까지 계절별로 해조류를 정량 및 정성 채집하였다(Fig. 1). 정량조사는 조건대 상, 중, 하부에 조위별 3개, 총 9개 방형구(50 cm × 50 cm)를 무작위적으로 놓고 방형구내에 존재하는 모든 해조류를 끝칼로 전량 채집하였으며, 해조상을 파악하기 위하여 다양한 기질과 조위에 서식하는 모든 해조류를 정성 채집하였다. 채집된 해조류는 포르말린-해수용액(5-10%)으로 현장에서 고정시켜 실험실로 운반한 후 현미경을 사용하여 분류 및 동정하였고, 출현종의 학명 및 국명은 Lee and Kang (2002)에 따랐다. 해조류의 기능형은 출현종의 외부형태 및 내부구조에 따라 다육질형, 유절산호말형, 각상형, 성긴분기형, 엽상형과 사상형의 6개 기능형군으로 구분하였으며(Littler and Littler, 1984), 다시 생태학적그룹 I인 ESG I (성긴분기형, 다육질형, 유절산호말형, 각상형)과 ESG II (엽상형, 사상형)로 분류하였다(Orfanidis et al., 2003; Arévalo et al., 2007). 해조상의 특성을 파악하기 위하여 정성 채집된 해조류를 분류 및 동정한 후 출현종수로 갈조류에 대한 녹조류

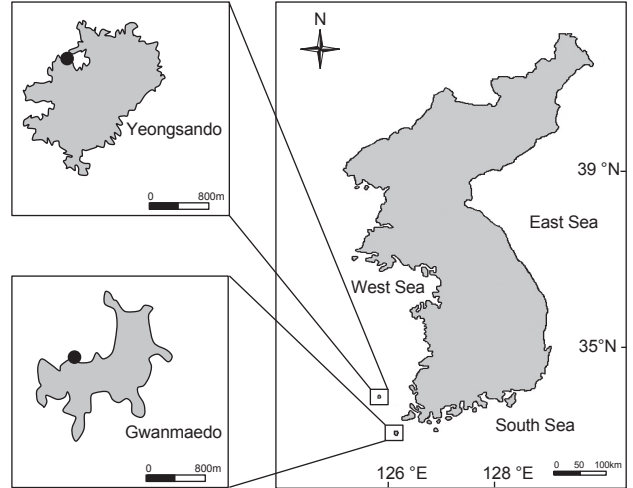


Fig. 1. A map of study sites and the location of Gwanmaedo and Yeongsando, southwestern coast of Korea.

의 비(C/P), 갈조류에 대한 홍조류의 비(R/P), 갈조류에 대한 녹조류와 홍조류의 비((R+C)/P)를 구하였다(Feldmann, 1937; Segawa, 1956; Cheney, 1977).

정량 채집된 해조류는 담수로 수 회 세척하여 모래와 불순물을 제거하고, 동정한 후 60°C로 설정된 건조기에서 7일간 건조하여 건조량을 측정하였고 단위면적당 생물량(g dry wt./m²)으로 환산하였다. 계절별로 출현한 해조류의 평균 생물량과 출현종수를 근거로 하여 풍도지수(richness index, R), Shannon's 다양도지수(diversity index, H')와 균등도지수(evenness index, J)를 계산하였으며(Margalef, 1958; Fowler and Cohen, 1990), 우점도지수(dominance index, DI)는 군집 내에서의 생물량 순서에 따라 제1, 2 우점종을 선택하고, 2종의 생물량 합에 대한 총 생물량의 비율로 산출하였다(McNaughton, 1967; Lee et al., 1983). 출현한 해조류의 우점도는 K-dominance 곡선으로 비교하였으며(Lambhead et al., 1983), 군집지수의 산출 및 도식화에는 PRIMER version 6 (Clarke and Gorley, 2006)를 이용하였다.

결 과

종조성

본 연구기간에 관매도와 영산도에서 출현한 해조류는 89종으로서 녹조류 11종, 갈조류 20종, 홍조류 58종이었으며, 홍조류가 전체 출현종수의 65.17%를 차지하여 녹조류와 갈조류에 비해 출현빈도가 높았다. 계절별 출현종수는 하계에 81종으로 가장 높았으며, 춘계에 73종, 추계에 64종, 동계에 56종으로 가장 적었다(Table 1). 관매도에서 출현한 해조류는 총 73종(녹조 10종, 갈조 17종, 홍조 46종)이며, 홍조류가 63.01%로 가장 높았

Table 1. The number of macroalgal species observed at Gwanmaedo and Yeongsando, southwestern coast of Korea (Sp, Spring; Su, Summer; Au, Autumn; Wi, Winter; To, Total)

Taxon	Gwanmaedo					Yeongsando				
	Sp	Su	Au	Wi	To	Sp	Su	Au	Wi	To
Chlorophyta	8	9	6	6	10	7	8	6	5	8
Phaeophyta	15	14	12	13	17	12	13	13	9	16
Rhodophyta	33	38	30	25	46	34	38	28	26	50
Total	56	61	48	44	73	53	59	47	40	74

고, 계절별 출현종은 44-61종으로 하계에 최대였고 동계에 최소였다. 영산도에서는 녹조류 8종, 갈조류 16종, 홍조류 50종으로 총 74종이 동정되었으며, 홍조류가 전체 출현종의 67.56%로 가장 높았고, 계절별 출현종수는 40-59종으로 하계에 최대였고 동계에 최소였다(Table 1).

관매도와 영산도 두 해역에서 연중 관찰되는 해조류는 녹조류 3종(고동웃헛대마디말, 구멍갈파래, 모란갈파래), 갈조류 6종(바위수염, 뜰부기, 세가닥갯쇠털, 미역, 툯, 지충이)과 홍조류 6종(비단풀, 잔금분홍잎, 애기우뭇가사리, 애기가시덤불, 불등풀가사리, 진두발)으로 총 15종이었다.

기능형 및 생태학적 그룹

관매도와 영산도에서 출현한 해조류 89종은 성긴분기형 37종(41.57%), 엽상형 19종(21.35%), 사상형 15종(16.85%), 다육질형 7종(7.87%), 각상형 7종(7.87%), 유질산화말형 4종(4.49%)으로 구분되어, 성긴분기형이 가장 우점하는 기능형 군으로 확인되었다. 관매도에서 생태학적 상태그룹은 ESG I에 속하는 해조류가 48종(65.75%)으로 ESG II에 속하는 엽상형과 사상형 해조류(25종, 35.25%)에 비해 많았으며, 영산도 또한 ESG I 해조류가 47종(63.51%)으로 ESG II 해조류(27종, 36.49%)에 비해 높게 나타났다(Table 3).

생물량 및 우점종

관매도와 영산도의 조간대에 서식하는 해조류의 연평균 생물량(g dry wt./m²)은 115.89 g/m²였으며, 계절별 생물량은 80.56-164.61 g/m²로서 동계에 최소였고 춘계에 최대로 확인되었다. 관매도 해조류의 계절별 생물량은 53.10-172.85 g/m²(연평균 93.57 g/m²)로서 춘계에 최대였으며 추계에 최소인 계절적 변동을 보였다(Fig. 2). 영산도 해역에서 해조류 생물량은 연평균 138.21 g/m²(계절별 83.11-176.20 g/m²)로서 추계에 최대였고 동계에 최소였다(Fig. 2). 조위별 생물량은 관매도 조간대 상부에서 44.93 g/m², 중부에서 83.51 g/m², 하부에서 152.28 g/m²로 조위가 낮아질수록 증가하는 패턴을 보였으며, 영산도 생물량은 조간대 상부에서 89.63 g/m², 중부에서 91.48 g/m², 하부에서 233.52 g/m²로서 상부에서 가장 낮았고 하부에서 최대였다(Fig. 2).

해조류의 연평균 생물량과 종다양성을 근거로 K-dominance

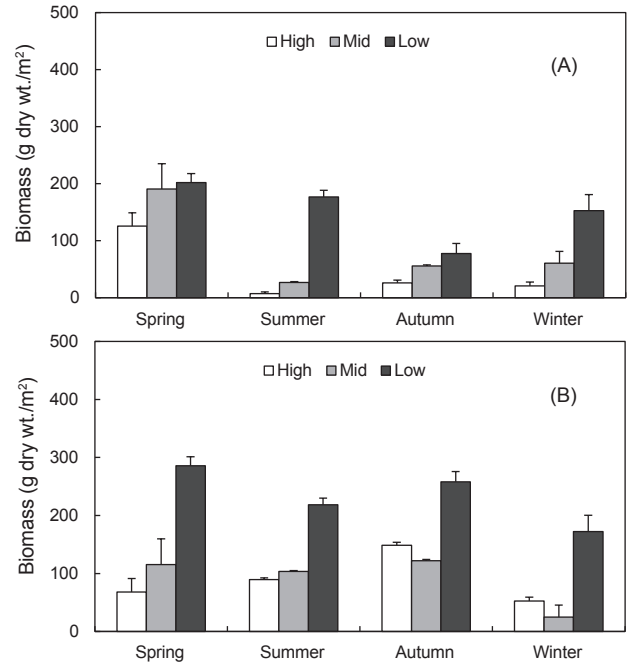


Fig. 2. Seasonal and vertical variations in average seaweed biomass (g dry wt./m²) at Gwanmaedo (A) and Yeongsando (B), southwestern coast of Korea. Bars show standard errors (n=3 replicates).

곡선을 도식화하면, 관매도에서 우점하는 해조류는 지충이(43.64 g/m², 46.44%)와 툯(13.57 g/m², 14.45%)으로 2종이 전체 생물량의 60.89%를 차지하였고, 영산도에서는 제 1 우점종 바위수염(54.74 g/m², 39.50%)과 제 2 우점종 툯(16.24 g/m², 11.72%)의 생물량 합은 총 생물량의 51.22%인 138.21g/m²으로 확인되었다(Fig. 3).

수직분포

관매도와 영산도 조간대 암반에 서식하는 해조류 생물량의 수직분포를 보면, 관매도 조간대 상부에서 지충이와 불등풀가사리가 총 생물량의 43.94% (19.74 g/m²)를 차지하였고, 중부 생물량의 52.79% (44.08 g/m²)를 바위수염(제1 우점종)과 지충이(제2 우점종)가 차지하였다. 특히, 관매도 중부에서는 개체군이 지속적으로 감소하는 멸종위협종인 뜰부기가 중부 해조

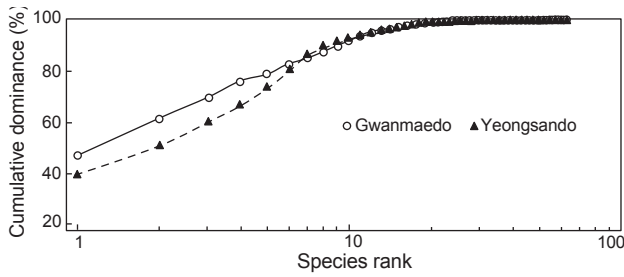


Fig. 3. K-dominance curves (X-axis logged) for average seaweed biomass at Gwanmaedo and Yeongsando, southwestern coast of Korea.

류 생물량(83.51 g/m²)의 12.73% (10.63 g/m²)를 차지할 정도로 높게 나타났으며, 하부에서는 툇이 전체 생물량의 76.92%인 117.13 g/m²을 차지하는 우점종이었다(Table 2). 영산도 조간대 상부에서는 지층이와 애기우뭇가사리 생물량이 46.90 g/m²으로 상부 전체 생물량(89.63 g/m²)의 52.33%를 나타냈고, 중부에서는 바위수염과 지층이가 총 생물량의 40.61%를 차지하였고 구멍갈파래도 11.21%로 우점하였다. 영산도 조간대 하부에서 해조류 생물량은 233.52 g/m²이었으며 지층이(115.87 g/

m², 49.62%)와 툇(48.72 g/m², 20.86%)이 높았다. 따라서, 관매도와 영산도에서 해조류의 생물량을 근거로 한 조간대 우점종은 상부에서 지층이, 중부에서 바위수염, 하부에서 툇과 지층이로 모든 조위에서 갈조류가 우점하는 것으로 확인되었다 (Table 2).

군집지수

해조류 생물량과 출현종수로 산출된 연평균 군집지수를 보면, 관매도에서 제 1, 2우점종은 툇(46.34 g/m²)과 바위수염(13.57 g/m²)으로 전체 생물량(93.57 g/m²)의 61.15%를 차지하여 우점도지수(DI)가 0.61였으며, 영산도에서 지층이(54.74 g/m²)와 툇(16.24 g/m²)이 51.35%를 차지하여 0.51로 나타났다. 연구 기간에 4계절 출현종수와 평균 생물량을 이용한 풍도지수(R)는 관매도에서 15.85 (계절별, 9.86-14.09)와 영산도에서 14.60 (계절별, 8.82-11.78)로서 계절별 변화에 비해 훨씬 높게 나타났으며, 균등도지수(J)는 제 1 우점종(툇)이 47%를 차지한 관매도(0.48)에 비해 출현한 해조류의 생물량이 균등하게 분포한 영산도(0.51)에서 높았다. 다양도지수(H')는 관매도에서 2.04이고, 영산도에서 2.18로 나타났다(Table 4).

해조상의 지역적 특성을 나타내는 C/P값은 관매도에서 0.46-

Table 2. Vertical distribution of dominant species (< 7 g in biomass) based on annually-averaged biomass (g dry wt./m²) at Gwanmaedo and Yeongsando, southwestern coast of Korea

Tidal level	Gwanmaedo	Yeongsando
High	<i>Sargassum thunbergii</i> (11.90) <i>Gloiopeltis furcata</i> (7.84) Other species (25.18)	<i>Sargassum thunbergii</i> (31.98) <i>Gelidiophycus freshwateri</i> (14.92) <i>Caulacanthus ustulatus</i> (14.72) <i>Gloiopeltis furcata</i> (13.56) Other species (14.45)
Total	44.93	89.63
Mid	<i>Myelophycus simplex</i> (32.17) <i>Sargassum thunbergii</i> (11.91) <i>Silvetia siliquosa</i> (10.63) <i>Ishige okamurae</i> (8.91) Other species (19.88)	<i>Myelophycus simplex</i> (20.79) <i>Sargassum thunbergii</i> (16.36) <i>Gelidiophycus freshwateri</i> (13.11) <i>Ulva australis</i> (10.26) <i>Caulacanthus ustulatus</i> (9.70) <i>Corallina pilulifera</i> (8.99) Other species (12.28)
Total	83.51	91.48
Low	<i>Sargassum fusiforme</i> (117.13) <i>Sargassum thunbergii</i> (8.15) Other species (27.00)	<i>Sargassum thunbergii</i> (115.87) <i>Sargassum fusiforme</i> (48.72) <i>Corallina pilulifera</i> (29.16) <i>Ulva australis</i> (15.77) <i>Sargassum fulvellum</i> (8.25) Other species (15.76)
Total	152.28	233.52

0.64의 범위로 동계에 최소, 하계에 최대를 보였으며, 영산도에서는 0.46-0.62의 범위로 추계에 최소, 하계에 최대로 나타났다. R/P값과 (R+C)/P값은 관매도에서 0.37-0.52(하계 최소, 동계 최대), 2.38-3.36(하계 최대, 동계 최소) 범위였으며, 영산도에서는 각각 0.34-0.46(하계 최소, 추계 최대), 2.62-3.54(하계 최대, 추계 최소)의 범위로서 두 값의 최대, 최소 계절은 반대로 나타났다(Table 4).

고 찰

본 연구지역인 관매도와 영산도에서 동정된 해조류는 89종(녹조 11종, 갈조 20종, 홍조 58종)이었으며, 관매도에서는 73종(계절별, 44-61종), 영산도에서 74종(계절별, 40-59종)으로 나타났다. 연구정점 인근 도서지역의 조간대 해조류 출현종은 하계조사에서 해남군 무인도서 62종(Oh et al., 2002), 신안군 압해면, 자은면과 암태면 인근의 16개 무인도서 63종(Oh et al., 2005), 신안군 도초면의 15개 무인도서 53종(Park et al., 2007)으로 기록되었다. 또한, 서남해안에 위치한 자은도에서 92종, 조도군도에서 114종, 소안군도에서 124종, 흑산도에서 67종, 홍도에서 70종이 출현하였으며(Choi et al., 1994; Oh et al., 2013), 남해안에 위치한 오동도에서 57종, 비진도에서 89종, 소매물도에서 80종이 출현하였다(Oh et al., 2014). 본 연구가 수행된 관매도와 영산도의 해조류 종다양성은 주변 해역인 조도

군도와 남해안인 비진도와 소매물도 보다는 낮게 나타났으나, 흑산도와 홍도 그리고 신안군 15개 무인도서에 비해 높아 중간 수준이었다. 해조류 출현종수는 채집 방법, 시기 및 환경 변화에 따라 차이가 있으므로 조사해역의 해조류 종다양성은 자료가 축적된 후에 논의되어야 할 것으로 판단되며, 명품마을로 지정된 관매도와 영산도의 관광객 증가에 따른 해조류 자원 관리 및 군집구조 변화를 정기적으로 모니터링하는 노력이 요구된다.

해조류는 느린 성장을 보이는 다년생 해조류로 구성된 ESG I (다육질형, 성긴분기형, 유절산호말형, 각상형) 해조류 그룹과 교란이나 오염해역에서 빠른 성장을 보이는 ESG II (엽상형, 사상형) 해조류 그룹으로 구분되고 기능형군 구성비율은 해조류 서식 환경상태와 밀접한 관련을 보이는 것으로 알려져 있다 (Arévalo et al., 2007; Pinedo et al., 2007; Wells et al., 2007). 우리나라 서해안과 남해안에서 서식하는 해조류의 기능형군별 구성비는 성긴분기형(서해안 38.3%, 남해안 41.5%), 사상형(28.8%, 24.5%), 엽상형(13.8%, 15.2%), 다육질형(11.7%, 13.3%), 각상형(3.9%, 3.3%), 유절산호말형(3.7%, 2.7%) 순서로서 성긴분기형과 사상형 해조류가 높은 비율을 보였다 (Sohn, 1987). 본 연구에서 출현한 해조류 89종은 성긴분기형(41.57%), 엽상형(21.35%), 사상형(16.85%), 다육질형과 각상형이 각각 7.87%, 그리고 유절산호말형이 4.49%로서, 서해안과 남해안 해조류의 기능형별 구성비와 유사하였으며(Sohn,

Table 3. The number of species (percentage, %) in functional form group and ecological state group (ESG) of seaweeds occurred in Gwanmaedo and Yeongsando, southwestern coast of Korea. (S, Sheet form; F, Filamentous form; CB, Coarsely Branched form; TL, Thick Leathery form; JC, Jointed Calcareous form; C, Crustose form)

Sites	ESG I				ESG II	
	CB	TL	JC	C	S	F
Gwanmaedo	32 (43.84)	6 (8.22)	3 (4.11)	7 (9.59)	16 (21.92)	9 (12.33)
Yeongsando	32 (43.24)	5 (6.76)	4 (5.41)	6 (8.11)	15 (20.27)	12 (16.22)
Total	37 (41.57)	7 (7.87)	4 (4.49)	7 (7.87)	19 (21.35)	15 (16.85)

Table 4. Average biomass (g dry wt./m²) and various community indices of seaweeds at Gwanmaedo and Yeongsando, southwestern coast of Korea (Sp, Spring; Su, Summer; Au, Autumn; Wi, Winter; To, Total)

Community indices	Gwanmaedo				Yeongsando			
	Sp	Su	Au	Wi	Sp	Su	Au	Wi
Biomass (g/m ²)	172.85	70.33	53.10	78.00	156.37	137.15	176.20	83.11
Dominance index (DI)	0.63	0.62	0.54	0.74	0.59	0.55	0.63	0.47
Richness index (R)	10.67	14.09	11.82	9.86	10.29	11.78	8.89	8.82
Evenness index (J')	0.45	0.47	0.53	0.35	0.44	0.43	0.42	0.60
Diversity index (H')	1.80	1.92	2.07	1.31	1.73	1.74	1.61	2.21
Chlorophyta/Phaeophyta (C/P)	0.53	0.64	0.50	0.46	0.58	0.62	0.46	0.56
Rhodophyta/Phaeophyta (R/P)	0.45	0.37	0.40	0.52	0.35	0.34	0.46	0.35
(R+C)/P	2.73	3.36	3.00	2.38	3.42	3.54	2.62	3.44

C, Chlorophyta; P, Phaeophyta; R, Rhodophyta.

1987), 교란이나 오염된 해역에서 번무하는 사상형과 엽상형 해조류(ESG II)가 약 40%로서 환경오염이나 교란에 대한 세심한 주의가 필요한 수준이다.

기초생산자인 해조류의 생물량은 군집의 특성을 나타내는 중요한 척도로서 정점별 생물량 자료를 비교 및 분석하는 것은 연안생태계의 안정성과 생산성을 이해하는데 중요한 자료이다(Choi et al., 2006). 본 연구에서 해조류의 연평균 생물량은 115.89 g dry wt./m²였고 관매도와 영산도에서 각각 93.57 g dry wt./m²와 138.21 g dry wt./m²를 나타냈다. 서해안에서 해조류의 조건대 생물량은 연구지역에 따라 큰 차이를 보였는데, 삼시도, 어청도, 흑산도와 홍도에서는 150 g dry wt./m² 이상이었고(Yoon and Boo, 1991; Kim et al., 2013; Oh et al., 2013), 외조도, 주삼도, 덕적도와 웅도에서는 100 g dry wt./m² 이하였다(Lee et al., 2007b; Choi et al., 2008; Wan et al., 2009). 이외에 전남 여수시 거문도 인근의 4개 정점(대삼부도, 서도, 동도, 고도)의 3계절(춘계, 하계, 추계) 조사에서 해조류 생물량은 평균 121.48 g dry wt./m²였으며(Koh, 1990), 고흥군 4개의 무인도서(내매물도, 켄도, 아래돛배섬, 진지외도)에서 하계에 50.85 g dry wt./m² (Song et al., 2011)로서 본 연구지역인 관매도와 영산도의 생물량은 어청도, 흑산도·홍도에 비해서는 낮았으나, 다른 도서와는 차이가 거의 없었다. 갈조류 지층이는 서해안의 11개 정점(Kim et al., 1995)에서 우점하였으며, 다른 연구 결과에서도 무창포에서 해조류 생물량의 57.83%, 마량리에서 56.88% 그리고 주삼도에서 54.64%를 차지하여 서해안의 대표종으로 나타났다(Yoo and Kim, 1990; Lee et al., 1997; Lee et al., 2000; Choi et al., 2008). 본 연구해역에서 지층이는 전체 생물량의 28.21%로서, 관매도에서 11.38%, 영산도에서 39.61%를 차지하였는데, 관매도의 경우 뜸부기와 툇의 생산량을 증대시키기 위한 갯닦기가 이루어지고 있어 지층이의 생물량이 낮게 나타난 것으로 확인된다.

해조류의 분류군별 출현종수를 기준으로 해조류의 지리적 분포 특성을 나타내는 C/P값은 한대에서 아열대 해역에 걸쳐 0.4-1.5범위의 값을 나타내고(Segawa, 1956), R/P값은 한대와 극지역에서 ≤1.0 이하, 온대지역에서 1.0-4.0, 열대해역에서 ≥4.0 이상을 보였으며(Feldmann, 1937), (R+C)/P값에 따라, 온대성 내지 한대성(3), 혼합성(3-6), 열대성(6) 해조상으로 구분한다(Cheney, 1977). 본 연구에서는 C/P 값이 0.47-0.65, R/P 값이 2.56-3.12의 범위로 온대해역 해조상을 보였으며, (R+C)/P 값은 관매도에서 3.29, 영산도에서 3.62로서 혼합된 해조상을 보였다. 관매도와 영산도를 포함한 서남해안 무인 및 유인도서의 (R+C)/P 값은 본 연구와 유사한 결과로서 혼합된 해조상으로 나타났으나(Oh et al., 2013; Yoo et al., 2014, 2015), C/P, R/P, 그리고 (R+C)/P 값은 내만에 위치한 섬에 비해 외해에 위치한 섬에서 낮은 값을 보임으로써(Oh et al., 2013; Yoo et al., 2014), 수온을 포함한 다른 환경 요인과 관련이 있는지에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

해조류의 군집구조를 나타내는 군집지수에서 출현종수와 평균 생물량 자료를 이용한 풍도지수(R)는 본 연구 정점인 진도군 관매도(15.85)와 신안군 영산도(14.60)에서 흑산도(11.93)와 홍도(12.82)에 비해 높게 나타났고(Oh et al., 2013), 완도군 정자도와 유사한 값(14.55)을 보였다(Yoo et al., 2014). 균등도 지수는 흑산도(0.44), 정자도(0.47), 관매도(0.48), 영산도(0.51) 및 홍도(0.59)의 순서를 보였다(Oh et al., 2013; Yoo et al., 2014). 종다양도 지수(H')도 흑산도가 1.87로서 가장 낮았고 정자도가 2.02, 관매도가 2.04, 영산도가 2.18이었으며, 홍도에서 최대값(2.50)을 보였다(Oh et al., 2013; Yoo et al., 2014). 해조류 군집지수에 대한 선행연구가 많지 않아서 비교가 제한적이지만, 본 연구 정점은 다양한 군집지수로 볼 때 안정적인 군집구조를 가지는 것으로 사료된다.

다도해해상국립공원에 포함된 관매도와 영산도의 연안생태계는 기초생산자인 해조류 출현종수, 기능형과 ESG I의 구성비, 생물량 및 다양한 해조류 군집지수를 근거로 종합해 보면, 신안군의 외해에 위치한 도서(흑산도와 홍도)와 완도군의 정자도에 비견할 정도로 양호한 환경상태로 평가된다. 또한, 본 연구 지역의 해조류 군집구조는 매우 유사하지만, 생물량, 균등도 지수와 다양도 지수로 볼 때, 관매도에 비해 영산도가 상대적으로 안정된 해조류 군집구조를 가지는 것으로 판단된다. 하지만, 명품마을로 지정된 두 지역에 관광객이 꾸준히 증가되고 있어서 인간활동에 의한 환경오염의 증대 및 기후변화로 인한 수온 상승은 해조류의 종조성과 생물량에 영향을 미칠 것으로 생각되므로, 다도해해상국립공원 내에 위치한 도서 및 연안에 서식하는 해조류의 서식처보호와 보전방안을 위한 연구가 수행되어야 할 것이다.

사 사

본 논문은 2013년 원광대학교 교비지원에 의해서 수행되었으며, 연구를 위해 현장채집과 실험을 도와준 해양생물학실협실 구성원에게 깊은 감사드립니다.

References

- 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>.
- Baek JM, Hwang MS, Lee JW, Lee WH and Kim JI. 2007. The macroalgal community of Bagryoungdo Island in Korea. *Algae* 22, 117-123. <http://dx.doi.org/10.4490/AL-GAE.2007.22.2.117>.
- Bernecker A and Wehrtmann IS. 2009. New records of benthic marine algae and cyanobacteria for Costa Rica, and a com-

- parison with other Central American countries. *Helgol Mar Res* 63, 219-229. <http://dx.doi.org/10.1007/s10152-009-0151-1>.
- Cheney DP. 1977. A new and improved ratio for comparing seaweed floras. *Suppl J Phycol* 13, 129.
- 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. <http://dx.doi.org/10.4490/ALGAE.2006.21.4.463>.
- Choi DS. 1990. A check list on marine algae of Cheonnam sea area. *Bull Inst Litt Biota* 7, 67-87.
- 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.
- Choi HG, Lee KH, Wan XQ, Yoo HI, Park HH, Kim JH and Chang IK. 2008. Temporal variations in seaweed biomass in Korean coasts: Woejodo and Jusamdo, Jeonbuk. *Algae* 23, 335-342. <http://dx.doi.org/10.4490/ALGAE.2008.23.4.335>.
- Clarke KR and Gorley RN. 2006. PRIMER V6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E Ltd, Plymouth, UK.
- Eriksson BK, Johansson G and Snoeijs P. 2002. Long-term changes in the macroalgal vegetation of the inner gullmar fjord, Swedish Skagerrak coasta. *J Phycol*, 38, 284-296.
- 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.
- Janiak DS and Whitlatch RB. 2012. Epifaunal and algal assemblages associated with the native *Chondrus crispus* (Stackhouse) 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>.
- Jung RH, Hwang DW, Kim YG, Koh BS, Song JH and Choi HG. 2010. Temporal variations in the sedimentation rate and benthic environment of intertidal surface sediments around Byeonsan Peninsula, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 43, 723-734. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2010.43.6.723>.
- Kraufvelin P, Lindholm A, Pedersen MF, Kirkerud LA and Bonsdorff E. 2010. Biomass, diversity and production of rocky shore macroalgae at two nutrient enrichment and wave action levels. *Marine Biol* 157, 29-47. <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-009-1293-z>.
- Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull Pusan Fish Coll* 7, 1-136.
- 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.
- Kim YS, Yang EA and Nam KW. 2013. Benthic marine algal flora and community structure of Eocheongdo in western coast of Korea. *Korean J Environ Ecol* 27, 655-665. <http://dx.doi.org/10.13047/KJEE.2013.27.6.655>.
- Koh NP. 1990. An ecological study on resources of marine plants in Geomundo islands. *Korean J Phycol* 5, 1-37.
- 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. <http://dx.doi.org/10.1080/00222938300770671>.
- 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 JW, Oh BG and Lee HB. 1997. Marine algal flora and community of Padori area in the Taean Peninsula, the west coast of Korea. *Algae* 12, 131-138.
- Lee JW, Oh BG and Lee HB. 2000. Marine benthic algal community at Padori, west coast of Korea. *Algae* 15, 111-117.
- Lee YP and Kang SY. 2002. *A Catalogue of the Seaweeds in Korea*. Cheju National University Press, Jeju, Korea.
- Lee KH, Yoo HI and Choi HG. 2007a. Seasonal community structure and vertical distribution of medicinal seaweeds at Kkotji Taean Peninsula, Korea. *Algae* 22, 209-219. <http://dx.doi.org/10.4490/ALGAE.2007.22.3.209>.
- Lee WJ, Hwang MS, Baek JM, Lee JW and Kim JI. 2007b. Primary survey on algal community of Gyounggi Bay for restoration. *Algae* 22, 201-207. <http://dx.doi.org/10.4490/ALGAE.2007.22.3.201>.
- Lindstrom SC. 2009. The biogeography of seaweeds in south east Alaska. *J Biogeogr* 36, 401-409. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01855.x>.
- 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. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981\(84\)90035-2](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981(84)90035-2).
- Liang Z, Wang F, Sun X, Wang W and Liu F. 2014. Reproductive biology of *Sargassum thunbergii* (Fucales, Phaeophyceae). *American J Plant Sci* 5, 2574-2581. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.517271>.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics* 3, 36-71. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01855.x>.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature* 216, 168-169. <http://dx.doi.org/10.1038/216168b0>.
- Nadja SJ, Anders T, Frank L, Sune TT, Christian R, Hans L and Anne BB. 2013. Pretreatment of the macroalgae *Chaetomorpha linum* for the production of bioethanol-Comparison of five pretreatment technologies. *Bioresour Technol* 140, 36-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.04.060>.
- 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. *Korean J Fish Aquat Sci* 35, 57-63. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2002.35.1.057>.
- Oh BG, Lee JW and Lee HB. 2005. Summer marine algal vegetation of uninhabited islands in Sinangun, southwest-

- ern coast. *Algae* 20, 53-59. <http://dx.doi.org/10.4490/AL-GAE.2005.20.1.053>.
- Oh JC, Park SK, Choi HG and Nam KW. 2013. Seasonal variation in biomass and community structure of intertidal seaweeds at Heuksando and Hongdo, south western coast of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 46, 878-885. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0878>.
- Oh JC, Ahn JK, Kim CD, Jeong JB and Choi HG. 2014. Seasonal variations in the maroalgal flora and community structure in Hallyeohaesang National park on the south of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 48, 768-775. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0768>.
- Orfanidis S, Panayotidis P and Stamatis N. 2003. An insight to the Ecological Evaluation Index (EEI). *Ecol Indicators* 3, 27-33. [http://dx.doi.org/10.1016/S1470-160X\(03\)00008-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-160X(03)00008-6).
- Park CS, Wee MY and Hwang EK. 2007. Summer marine algal flora of uninhabited islands in Dochoodo, southwestern coast of Korea. *Algae* 22, 305-311. <http://dx.doi.org/10.4490/AL-GAE.2007.22.4.305>.
- Parker JD, Duffy JE and Orth RJ. 2001. Plant species diversity and composition: experimental effects on marine epifaunal assemblages. *Mar Ecol Prog Ser* 224, 55-67.
- 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>.
- Satheesh S and Wesley SG. 2012. Diversity and distribution of seaweeds in the Kudankulam coastal waters, south-eastern coast of India. *Biodivers J* 3, 79-84.
- Schermer F, Horta PA, de Oliveira EC, Simonassi JC, Hall-Spencer JM, Chow F, Nunes JMC and Pereira SMB. 2013. Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic. *Mar Pollut Bull* 76, 106-115. <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.
- Silva IB, Fujii MT and Marinho-Soriano E. 2012. Influence of tourist activity on the diversity of seaweed from reefs in Maracajaú, Atlantic Ocean, Northeast Brazil. *Rev Bras Farmacogn Braz J Pharmacogn* 22, 889-893. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-695X2012005000078>.
- 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. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2011.0524>.
- Vandendriessche S, Vincx M and Degraer S. 2006. Floating seaweed in the neustonic environment: a case study from Belgian coastal waters. *J Sea Res* 55, 103-112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2005.09.002>.
- Wan XO, Park HH, Yoo HI and Choi HG. 2009. Temporal variations in seaweed biomass and coverage in Korean coasts: Ongdo, Chungnam. *Korean J Fish Aquat Sci* 12, 130-137. <http://dx.doi.org/10.5657/fas.2009.12.2.130>.
- Wagdy L, Atef M, Laila A, Shimaa M and Shimaa H. 2015. Ecological studies of macroalgae in Alexandria Mediterranean waters. *Egypt J Exp Biol* 11, 169-180.
- 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>.
- Yang EA and Kim YS. 2009. Summer marine algal flora of Sipidongpado, located in the middle western coast of Korea. *KJNC* 3, 1-5.
- Yoo JS and Kim YH. 1990. Structure analysis of intertidal algal communities in Muchangpo and Maryangri, western coast of Korea. *Korean J Bot* 33, 225-236.
- Yoo HI, Heo JS and Choi HG. 2015. Seasonal variability of marine algal flora and community structures at Gumgap, Jindo, on the Southwestern coast of Korea. *J Fish Mar Sci Edu* 27, 300-307. <http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2015.27.1.300>.
- Yoo HI, Jeong BK, Park JK, Heo JS, Park M-S and Choi HG. 2014. Seasonal variability of marine algal flora and community structures at Jungjado, on the South Coast of Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 47, 927-934. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2014.0927>.
- Yoo HI, Lee JH, Lee KH, Baek SH, Heo YB, Noh HS and Choi HG. 2007. Summer marine algal floras and community structures in Taean Peninsula, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 40, 210-219. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2007.40.4.210>.
- Yoon MY and Boo SM. 1991. Flora and zonation of marine plants at the littoral area of Sapsido island on the Yellow Sea of Korea. *Korean J Phycol* 6, 145-156.