

한국 제주 연안의 암반 형태 차이와 저서생물 군집구조^{1a}

김보연² · 고준철² · 최한길^{3*}

Rock type difference and Benthic Community Structures in the coast of Jeju, Korea^{1a}

Bo Yeon Kim², Jun-Cheol Ko², Han Gil Choi^{3*}

요 약

제주 연안 저서생물(해조류, 무척추동물)의 군집구조가 저서 기질 형태에 따른 차이를 파악하기 위해 신흥해역에서 2015년 2월부터 11월까지 매월 조사되었다. 암반정점에서는 해조류 57종과 무척추동물 102종이 출현하였고, 몽돌정점에서는 해조류 42종과 무척추동물 67종이 관찰되어 암반기질에서 저서생물의 출현종수가 높은 것으로 나타났다. 해조류의 연평균 생물량은 암반정점에서 1,601.13 g wet wt./m²으로 몽돌정점의 448.85 g wet wt./m²보다 약 4배 높았다. 감태는 암반정점에서 전체 생물량의 62.64% (1,002.93 g/m²)를 차지하는 우점종이었고, 몽돌정점에서는 넓은게발, 감태, 붉은뼈까막살, 자루바다표고, 갈래곰보가 우점하였다. 저서무척추동물의 개체수 및 생물량은 암반정점에서 각각 106.9 indivi./m², 871.93 g/m²이며, 몽돌정점에서는 64.6 indivi./m², 984.28 g/m²로 나타났다. 무척추동물의 생물량 우점종을 파악한 결과, 암반정점에서는 소라(36.40%), 바퀴고둥(19.18%), 보라성게(13.61%)였고, 몽돌정점에서는 거품돌산호(54.13%)와 그물코돌산호(24.28%)로 기질에 따른 우점종의 차이를 확인하였다.

주요어: 해조류, 무척추동물, 암반정점, 몽돌정점, 우점종

ABSTRACT

Effects of substrate types (bedrock and boulder habitat) on the community structures of benthic biota (macroalgae, macrobenthos) were monthly examined at Sinheung in Jeju Island, Korea, from Feb. to Nov. 2015. Species diversity of seaweeds and macrobenthos was greater at bedrock sites with 57 and 102 species than at boulder sites having 42 seaweeds and 67 macrobenthos. Average annual biomass of seaweeds was 1,601.13 g wet wt./m² at bedrock site and 448.85 g wet wt./m² at boulder site. *Ecklonia cava* was the most dominant species, occupying 62.64% (1,002.93 g/m²) of total biomass at bedrock. *Amphiroa anceps* was the most dominant species and subdominant species was *Ecklonia cava*, *Grateloupia angusta*, *Peyssonnelia capensis* and *Meristotheca papulosa* at boulder site. Density and biomass of macrobenthos were estimated to be 106.9 indivi./m² and 871.93 g/m², respectively at bedrock site and they were 64.6 indivi./m² and 984.28 g/m² at boulder site. The dominant macrobenthos species based on biomass were *Turbo comutus* (36.40%), *Astrarium haematragum* (19.18%) and *Anthocidaria crassispinga* (13.61%) at bedrock site and they were *Alveopora japonica* (54.13%) and

1 접수 2016년 9월 6일, 수정 (1차: 2016년 11월 20일), 게재확정 2016년 11월 22일

Received 6 September 2016; Revised (1st: 20 November 2016); Accepted 22 November 2016

2 국립수산물과학원 제주수산연구소 Jeju Fisheries Research Institute, NFIS, Jeju-do 63068, Korea (fhsm159@naver.com)

3 원광대학교 생명과학부/환경과학연구소 Faculty of Biological Science and Institute for Environmental Science, Wonkwang University, Iksan, Jeonbuk 54538, Korea

a 본 연구는 국립수산물과학원 제주수산연구소 「제주주변 연근해 어업 및 환경생태조사, R2016034」 과제의 일환으로 수행되었음.

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-63-850-6579, Fax: +82-63-857-8837, E-mail: hgchoi@wku.ac.kr

Psammocora profundacella (24.28%) at boulder site.

KEY WORDS: MACROALGAE, MACROBENTHOS, BEDROCK, BOULDER, DOMINANT SPECIES

서론

조하대 해조류 군집은 해양 먹이 사슬의 일차생산자로서 다양한 저서 동물의 산란, 생육 및 은신처의 역할을 수행하며, 인간에게 식용과 약용으로 이용될 뿐만 아니라 건강식품, 의약품 및 화장품의 원료로도 이용되고 있어 생태학적, 경제학적으로 중요한 구성요소이다(Oh *et al.*, 1990; Terawaki *et al.*, 2001; Cha *et al.*, 2006). 또한, 해조류는 해양에 유입된 유·무기물 및 중금속을 제거하는 생물정화자, 연안 환경변화를 모니터링하는 생물지시자로 사용된다(Orfanidis *et al.*, 2001; Wells *et al.*, 2007; Scherner *et al.*, 2013). 해조류는 일반적으로 경성기질에 착생하여 서식하고(Silva *et al.*, 2012), 이들을 섭식하는 일차소비자인 저서무척추동물은 다른 포식자들의 먹이원으로 연안 생태계의 종다양성과 생산력에 중요한 역할을 한다(McIntyre and Eleftheriou, 1968; Cohen *et al.*, 1982). 저서무척추동물 군집은 플랑크톤이나 어류에 비해 이동성이 적기 때문에 일시적인 환경변화나 조사 시기에 영향을 받지 않아 연안 환경을 모니터링하는데 유용하며(Warwick and Clarke, 1993; Burd *et al.*, 2008), 이들의 종다양도와 개체수는 연안생태계의 건강도를 측정하는 요소로 알려져 있다(Pearson and Rosenberg, 1978; Thouzeau *et al.*, 1991).

조하대에 서식하는 해조류와 저서무척추동물의 군집구조는 수심, 조류, 기질 종류 등에 의해 영향을 받으며(Neushul, 1967; Shepherd and Womersley, 1981), 극심한 환경변화를 보이는 조간대와 다르게 일정한 수심부터는 도달하는 광량과 부착 기질과 같은 몇가지 환경 요인의 영향을 받는다고 알려져 있다(Mathieson, 1979). 특히, Shepherd and Womersley (1981)은 기질을 일차적인 환경 요소로 보고 있으며, 많은 연구자들이 서식환경(부착 기질의 종류)에 따른 우점종의 차이를 기록하였다(Malm and Isæus, 2005; Ko *et al.*, 2011; Shin *et al.*, 2011). 해조류는 종별로 서식에 적합한 암반 구조가 있으며, 녹조류는 갈조류, 홍조류에 비해 부드러운 기질 구조에서 생존율이 높게 나타났다(Fletcher and Callow, 1992). 갈조류 *Fucus serratus*는 몽돌(boulder)에 비해 석회질성 암반(limestone bedrock)에 주로 서식하였으며(Malm and Isæus, 2005), 모래밭에 암반이 드물게 관찰되는 포항에서는 구멍갈파래(*Ulva australis*), 지층이(*Sargassum thunbergii*), 가시우무(*Hypnea charoides*)와 우뚝가사리(*Gelidium amansii*)가 우점하였으나, 모래와 암반이 혼합된 기질을 보이는 대진,

죽변과 축산 연안에서는 우점하지 않는 것을 보고하였다(Shin *et al.*, 2011). 또한, 저서무척추동물 중에서도 연체동물(mollusca), 절지동물(arthropoda) 및 자포동물(cnidaria)은 암반 위나 내부 공간에 의존해 서식한다고 알려져 있으며, Ko *et al.* (2008)은 사니질로 구성된 서·남해안에 비해 다공성 현무암으로 암반이 이루어진 제주도에서 연체동물과 자포동물의 밀도가 높게 나타나는 것을 확인하였다.

온대 해역인 대한민국 본토와는 달리 열대와 아열대성 해양생물들이 다양하게 서식하고 있어 종다양성이 높게 나타나는 제주도 연안의 저서생물상 연구는 활발하게 진행되어 왔다(Lee and Lee, 1976; Yoon, 1985; Kim, 1991; Lee *et al.*, 2001; Lee and Hyun, 2002; Yoo, 2003; Oak *et al.*, 2004). 하지만, 최근에 해조류 연구는 제주 전 연안(Kim *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2015)과 제주 남부연안(Kang *et al.*, 2015)에서, 무척추동물은 제주 동서남북 마을어장(Ko *et al.*, 2011)과 제주 남부 해역(Ko *et al.*, 2012)에서 수행되어 제주도 연안의 저서생물상 및 군집의 변화를 파악하기에는 자료가 매우 부족한 실정이다. 특히, 조하대 지역은 조간대에 비해 상대적으로 환경이 안정되고, 넓은 면적을 차지하고 있어 조하대에 서식하는 저서생물상에 대한 연구의 중요성이 강조되고 있으나, SCUBA diving을 통해서만 조사가 이루어지는 어려움으로 인해 조하대 저서생물상을 통한 연안생태계의 이해, 관리 및 보존할 수 있는 과학적 기초 자료가 부족하다.

해조류에 의해서 제공되는 공간이나 부착 기질은 무척추동물에게 좋은 서식 장소가 되며, 이들을 생활공간으로 활용하는 다양한 해양생물이 모여들게 된다. 이처럼, 해조류와 무척추동물을 포함하는 다양한 생물군집 사이에는 상호작용, 공간 경쟁 등 복잡한 관계가 형성되는데, 다양한 군집의 생물상 연구를 동시에 수행한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구는 제주도 남동부에 위치한 신흥해역에서 저서 기질 구조가 연안 생태계의 일차생산자인 해조류와 일차소비자인 무척추동물의 군집구조에 미치는 영향을 파악하고, 나아가 해양생물자원의 보존 및 관리방안 등을 위한 기초 자료를 제공할 목적으로 수행되었다.

연구방법

본 연구를 수행하기 위해 해양환경조사와 저서생물(해조류, 무척추동물)의 샘플링은 제주 남동부에 위치한 신흥(33°17'N, 126°46'E) 해역에서 서로 다른 암반과 몽돌기질

(대략 50×70 cm) 2개 정점을 선정하여 조하대 수심 10 m에서 2015년 2월부터 11월까지 매월 SCUBA Diving에 의해 실시되었다(Figure 1).

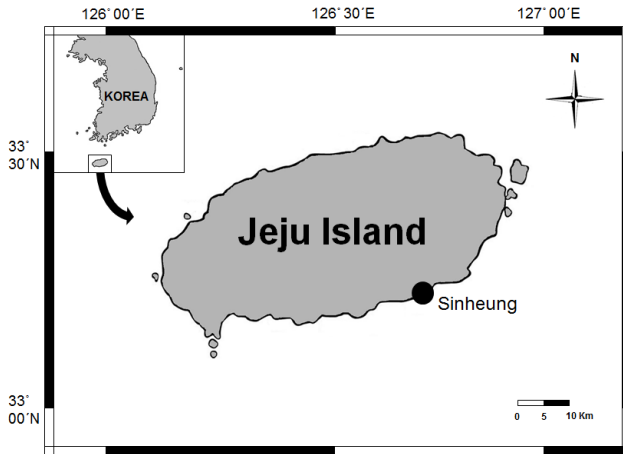


Figure 1. A map of sampling sites in Jeju Island, Korea

1. 해양환경조사

본 연구 해역의 저층 수온은 자동온도측정장치(HOBO/onset)를 수심 10 m에 설치하여 1시간 마다 측정하였으며, 해수 시료는 Niskin 채수기를 이용하여 저층에서 채수하여 4℃를 유지하면서 실험실로 운반한 후에 분석하였다. 부유물질(SS)은 해수 2L를 GF/F 여과지로 여과하고 110℃에서 건조한 후 전자저울로 무게를 측정하였다. Chl-*a*는 해수 시료 1L를 GF/F 여과지로 여과한 후, 90% 아세톤 용액 10 mL를 첨가하여 엽록소를 추출한 다음 원심분리기로 분리된 상등액을 비색계(UVICONxs, 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 Molybdenum blue method로 비색계를 이용하여 정량화 하였다. 용존무기질소(DIN)는 암모니아와 아질산 및 질산 질소의 합으로 나타냈다.

2. 저서생물 채집 및 분석

본 연구 해역의 수심 10 m에서 10×10 cm로 구획된 방형구(50×50 cm) 3개를 무작위로 놓고 방형구 내에 출현하는 해조류와 무척추동물들을 끌갈을 이용하여 전량 채집하였다.

채집된 저서생물은 현장에서 포르말린-해수 용액(10%)으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 정량 채집된 해조류는 담수로 수 회 세척하여 종별 습중량을 측정하였으며, 단위 면적당 생물량(g wet wt./m²)으로 환산하였다. 해조류의 출현종은 형태와 크기에 따라 켈프형(kelp), 유·무절산호조류형(coralline)과 소형 하층해조류형(understory seaweeds)의 3개 기능형 그룹으로 구분하였다(Britton-Simmons, 2006). 해조류 동정은 Algaebase (<http://www.algaebase.org>, Guiry and Guiry, 2016)와 Lee and Kang (2002)의 분류체계를 참고하였다. 저서 무척추동물은 종 별 개체수와 습중량을 측정하였으며, 단위 면적당 개체수(indivi./m²)와 생물량(g wet wt./m²)으로 환산하였다. 무척추동물의 동정은 Hong (2006)을 참고하였으며, 연체동물(Okutani and Habe, 1990; Choe, 1992; Nishimura, 1995)과 절지동물(Dai and Yang, 1991)은 다양한 논문을 참고하였다.

3. 군집지수

연구 정점별 해조류와 저서동물 출현종과 생물량 자료를 이용하여 풍도지수(richness index, R), 균등도 지수(evenness index, J)와 다양도 지수(diversity index, H')를 계산하였다(Margalef, 1958; Fowler and Cohen, 1990). 우점도 지수(dominance index, DI)는 방형구내 전체 생물량에 대한 제 1, 2 우점종의 생물량 합의 비로 산출하였다(McNaughton, 1967).

결 과

1. 해양환경특성

암반정점의 저층 수온은 14.8~28.7℃ (20.7±3.67℃, mean±SD)였으며, 9월에 평균 25.7℃로 최대였고 3월에 15.3℃로 최소였다. 몽돌정점의 저층 수온은 13.7~27.3℃ (19.3±3.45℃)로 나타났으며, 9월에 평균 24.4℃로 최대였고 3월에 14.3℃로 최소였다. 두 정점의 저층 수온은 동일한 시기에 비교했을 때 암반정점에서 1℃ 이상 높은 것으로 확인되었다(Figure 2).

연구기간 용존무기질소(DIN)의 농도는 연평균 0.106 mg/L (월별, 0.061~0.154 mg/L)로서 추계(9~11월)에 높은 값을 보였다(Table 1). 용존무기인(DIP) 농도는 0.001~0.005 mg/L로 월별 차이가 거의 없었으며, 규산규소(SiO₂)는 0.059~0.373 mg/L (평균 0.193 mg/L)으로 동계와 춘계에 높은 농도를 나타냈고, 부유물질의 경우 연평균 2.3 mg/L로 0.7~4.4 mg/L의 범위를 보이고, Chlorophyll *a*의 경우 1.26~2.40 μg/L (평균 1.82 μg/L)로 하계에 높은 농도를 보

Table 1. Monthly variations of physical and chemical values observed in the bottom water at Sinheung, Jeju Island from February to November 2015

Factor	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov
DIN (mg/L)	0.090	0.065	0.127	0.061	0.111	0.083	0.108	0.123	0.136	0.154
DIP (mg/L)	0.001	0.001	0.002	0.001	0.005	0.002	0.005	0.002	0.004	0.005
SiO ₂ (mg/L)	0.259	0.243	0.361	0.373	0.141	0.072	0.169	0.059	0.148	0.104
SS (mg/L)	1.9	0.7	1.1	0.8	4.3	2.7	2.9	2.8	1.8	4.4
Chl a (µg/L)	1.26	1.80	1.39	1.78	1.95	2.40	1.60	1.96	2.09	1.98

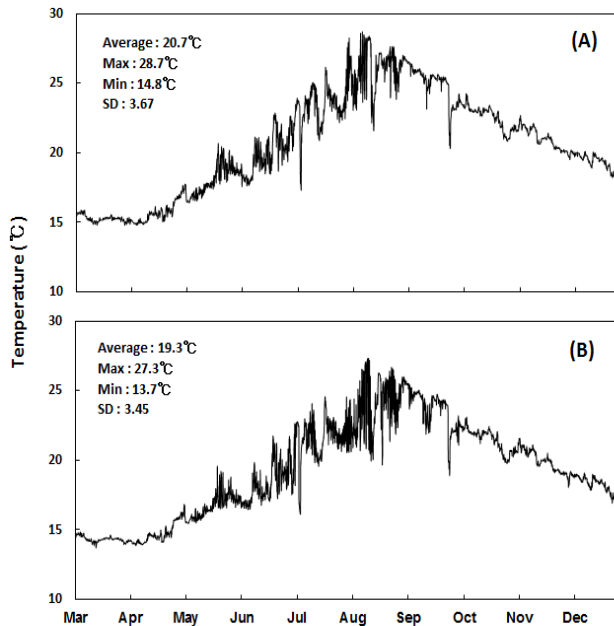


Figure 2. Variations of seawater temperature at Bedrock (A) and Boulder habitat (B) of Sinheung in Jeju Island from March to December 2015

였다.

2. 해조류

1) 종조성

연구 기간에 암반정점에서 출현한 해조류는 12~28종으로 총 57종(녹조 6, 갈조 5, 홍조 46종)이었으며, 몽돌정점에서는 12~21종으로 총 42종(녹조 6, 갈조 2, 홍조 34종)이 출현하였다(Table 2). 두 정점에서 홍조류가 가장 우점하는 분류군이었으며 홍조류 출현종 수의 차이를 보였다.

두 정점에서 연중 출현한 종은 넓은게발(*Amphiroa anceps*), 둘레게발혹(*Marginisporum crassissimum*), 낭과떡(*Synarthrophyton chejuensis*)과 붉은뼈까막살(*Grateloupia angusta*)로 4종이었으며, 감태(*Ecklonia cava*), 눈썹마디게발(*Amphiroa foliacea*), 방향게발혹(*Marginisporum aberrans*)이 10회 조사 중 7회 이상 출현하였다. 이 외에도 암반정점에서는 갈색대마디말(*Cladophora wrightiana*), 구슬청각(*Codium minus*), 둥근떡게발(*Amphiroa ephedraea*), 긴가지산호말(*Ellisolandia elongata*) 4종이 자주 출현하였고 몽돌정점에서는 홍조류인 자루바다표고(*Peyssonnelia capensis*), 갈래곰보(*Meristotheca papulosa*)와 참곱슬이(*Plocamium telfairiae*)의 출현 빈도

Table 2. Monthly variation in the number of macroalgal species occurred at the two different habitats of Sinheung in Jeju Island from February to November 2015

Habitat	Taxon	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Total
Bedrock	Chlorophyta	2	2	0	4	2	4	3	2	3	3	6
	Pheophyta	1	2	2	4	2	1	1	1	1	1	5
	Rhodophyta	25	23	12	18	16	15	9	9	17	16	46
	Total	28	27	14	26	20	20	13	12	21	20	57
Boulder	Chlorophyta	1	3	4	3	1	2	1	0	2	3	6
	Pheophyta	1	2	2	1	0	1	1	0	0	1	2
	Rhodophyta	17	16	15	15	16	12	11	12	12	9	34
	Total	19	21	21	19	17	15	13	12	14	13	42

가 높았다.

암반정점에서만 출현한 종은 총 22종(녹조 2, 갈조 3, 홍조 17종)이었고, 몽돌정점에서만 출현한 종은 총 12종(녹조 3, 홍조 9종)이었다. 암반정점에서는 뼈대그물말류(*Dictyopterus* sp.), 그물바탕말류(*Dictyota* sp.)가 출현하였고, 윗가지참깃풀(*Antithamnion densum*)과 홍실외깃풀(*Callithamnion pinnatum*)과 같은 작은 홍조류가 다수 출현하여 두 정점에서의 출현종 수의 차이를 보였다.

2) 생물량

본 연구기간에 출현한 해조류의 연평균 생물량은 암반정점에서 1,601.13 g wet wt./m² (729.75~2,807.12 g/m²)이며, 몽돌정점에서는 448.85 g wet wt./m² (164.46~778.46 g/m²)로 암반 정점에서 몽돌정점에 비해 약 4배 높았다(Figure 3). 분류군별 생물량은 암반정점에서 갈조류(1,004.34 g/m², 62.73%), 홍조류(554.45 g/m², 34.63%), 녹조류(42.34 g/m², 2.64%)의 순서였으나, 몽돌정점에서는 홍조류(341.65 g/m², 76.12%), 갈조류(82.24 g/m², 18.32%), 녹조류 (24.96 g/m², 5.56%)의 순서를 보였는데, 갈조류 감태의 생물량이 두 정점에서 차이를 보였다.

해조류의 월별 생물량은 암반 정점에서 5월에 2,807.12 g/m²로 최대였고 9월에 729.75 g/m²로 최소였으며, 5월에는 감태가 전체 생물량의 71.31% (2,001.87 g/m²)를 차지하였으나, 9월에는 감태 생물량이 159.33 g/m²로 많은 감소를 보임으로써 월별 생물량 변화는 우점종인 감태의 생물량과 밀접한 관련을 보였다. 몽돌정점에서 해조류 생물량은 11월에 778.46 g/m²으로 최대값을 보였고, 이 시기에 감태 생물량은 전체의 61.17%를 차지하였으나, 11월을 제외한 다른 조사 시기에는 넓은게발, 붉은뼈까막살과 같은 홍조류의 생물량이 높게 나타났다.

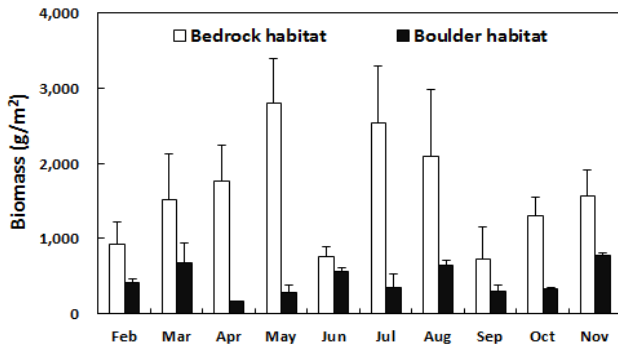


Figure 3. Monthly variations in average seaweed biomass (g wet wt./m²) at two different habitats of Sinheung, Jeju Island, from February to November 2015. Vertical bars represent standard errors (n=3replicates)

3) 기능형 그룹

암반정점에서 출현한 해조류 57종은 켈프형 1종, 산호조류형 14종, 하층해조류형 23종과 그 외 해조류가 19종이었고, 몽돌정점에서는 켈프형 1종, 산호조류형 9종, 하층해조류형 21종과 그 외 해조류가 11종 출현하였다(Figure 4). 암반정점에서는 켈프형이 전체 생물량(1,601.13 g/m²)의 62.64%를 차지하였고, 몽돌정점에서는 하층해조류형이 전체 생물량(448.85 g/m²)의 42.11%를 차지하여 우점하는 기능형군으로 나타났다. 두 정점 모두 켈프형은 대형갈조류인 감태 1종이었으며, 연평균 생물량은 암반정점에서 1,002.93 g/m², 몽돌정점에서 82.06 g/m²으로 나타나 두 정점간 현저한 차이를 보였다. 유·무절산호조류인 산호조류형의 생물량은 암반정점에서 464.49 g/m²로 몽돌정점의 176.92 g/m²에 비해 2배 이상 높게 나타났으나, 두 정점에서 넓은게발과 들레게발혹이 높은 생물량을 보였다. 소형 하층해조류형에는 현미경적 미소조를 제외한 대부분이었으며, 두 정점에서 출현종 수와 생물량에서 큰 차이를 보이지 않았으나, 몽돌정점에서 가장 우점하는 기능형군이었다. 하층해조류형의 주요종은 암반정점에서 붉은뼈까막살, 구슬청각과 갈색대마디말이었으며, 몽돌정점에서는 붉은뼈까막살, 자루바다표고, 갈래곰보와 누운청각(*Codium coactum*)으로 확인되었다.

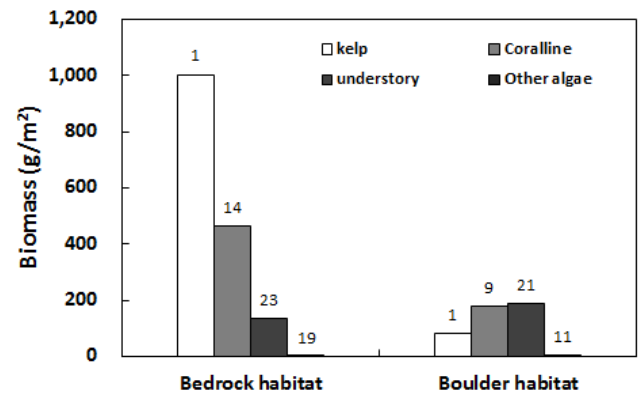


Figure 4. Average seaweed biomass (g wet wt./m²) of functional(F)-formgroups at two different habitats of Sinheung, Jeju Island

4) 우점종

암반정점에서 서식하는 해조류 중 연간 평균 생물량이 전체 생물량의 10% 이상인 종은 감태(1,002.93 g/m², 62.64%)와 넓은게발(173.15 g/m², 10.81%)이었으며, 들레게발혹(7.35%)과 방황게발혹(6.88%)도 많은 생물량을 보였다(Table 3). 한편, 몽돌정점에서는 넓은게발(93.29 g/m², 20.78%),

Table 3. Monthly variations in average seaweed biomass (g wet wt./m²) of dominant species growing at two different rocky shore habitats of Sinheung, Jeju Island, from February to November 2015

Habitat type / Species	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Av
Bedrock											
<i>Cladophora wrightiana</i>	36.17	12.11		26.55	13.55	7.97	19.52	39.04	4.17		16.15
<i>Codium minus</i>	54.57	28.73		36.07		80.45		11.23	1.52	39.76	25.23
<i>Ecklonia cava</i>	186.93	828.93	1,291.33	2,001.87	40.13	1,984.13	1,695.20	159.33	932.80	908.67	1,002.93
<i>Amphiroa anceps</i>	374.65	175.87	138.55	148.36	249.81	112.15	81.03	159.16	137.37	154.59	173.15
<i>Amphiroa foliacea</i>	8.89	66.55	19.43	14.07	22.29	6.99	4.43	28.43	7.71	4.85	18.36
<i>Ellisolandia elongata</i>	1.12	39.32		33.67	8.40	2.83			5.44	32.60	12.34
<i>Marginisporum aberrans</i>	95.39	163.53	161.52	240.25	106.80	87.95	44.29	6.95	52.85	141.59	110.11
<i>Marginisporum crassissimum</i>	65.95	78.96	59.19	177.23	126.57	93.25	102.09	226.15	75.83	171.43	117.66
<i>Grateloupia angusta</i>	69.49	60.51	49.05	44.72	95.45	141.40	135.67	71.19	59.31	65.31	79.21
Other algae	31.07	67.83	50.64	84.35	91.87	16.39	17.09	28.28	22.76	51.89	45.97
Total	924.24	1,522.33	1,769.71	2,807.12	754.88	2,533.51	2,099.32	729.75	1,299.76	1,570.68	1,601.13
Boulder											
<i>Codium coactum</i>		2.74	48.24			26.16			79.16	48.64	20.49
<i>Ecklonia cava</i>		248.42	0.16	0.10		0.32	94.40			476.20	82.06
<i>Amphiroa anceps</i>	130.44	231.60		61.30	176.16	22.70	173.14	43.30	56.90	30.76	93.29
<i>Lithophyllum okamurae</i>				18.10	5.60	122.02	133.24	26.02			30.50
<i>Marginisporum crassissimum</i>	40.92	24.04	4.92	30.78	20.04	40.96	58.56	28.38	26.42	77.54	35.26
<i>Peyssonnelia capensis</i>	20.20	35.14	35.36	54.70	19.60	36.04	93.48	81.32	56.28	40.84	47.30
<i>Meristotheca papulosa</i>	33.22	16.66	14.92	15.18	115.62	74.20	24.68	36.34	0.02		33.08
<i>Grateloupia angusta</i>	154.86	92.10	24.32	62.00	183.90	14.28	36.04	49.32	107.66	48.88	77.34
Other algae	28.68	28.20	36.54	33.18	34.80	17.80	23.42	36.94	7.78	55.60	29.54
Total	408.32	678.90	164.46	275.34	555.72	354.48	636.96	301.62	334.22	778.46	448.85

감태(82.06 g/m², 18.28%), 붉은뼈까막살(77.34 g/m², 17.23%)과 자루바다표고(47.30 g/m², 10.54%)가 고른 생물량을 보이는 것으로 확인되었다(Table 3).

월별 우점종의 생물량 변화를 보면, 암반정점에서는 감태가 6월을 제외한 모든 연구 기간에 우점하였으며, 특히, 3~5월, 7~8월, 10~11월에는 전체 생물량의 54.45~80.75%를 차지하는 극우점종으로 나타났다. 넓은게밭은 연중 높은 생물량(81.03~374.65 g/m²)을 보였으며, 방향게밭혹은 3~6월, 11월에, 둘레게밭혹은 5~6월, 8~9월, 11월에 100 g/m² 이상의 생물량을 보이며 우점하여 감태와 석회조류의 우점도가 높게 나타났다. 몽돌정점에서는 암반정점과 달리 11월에만 특정 1종(감태)이 전체 생물량을 결정하는 극우점종으로 출현하였다. 최대 연평균 생물량을 보인 넓은게밭은 2~3월, 6월과 8월에, 붉은뼈까막살과 자루바다표고는 연중 우점하였다. 갈래곰보는 10~11월을 제외한 연구 기간에 우점하였으며, 최대 엽장을 보이는 6~7월에 높은 생물량을 보였다. 암반정점에서는 대부분의 우점종이 석회조류였으나, 몽돌정점에서는 석회조류를 제외한 홍조류의 우점도가 높았다.

5) 군집지수

전체 생물량에 대한 제 1, 2 우점종 생물량의 합의 비로 산출된 우점도지수(DI)는 암반정점에서 0.74로 감태와 넓은게밭의 생물량이 전체 생물량의 73.45%를 보여 몽돌정점에 비해 현저하게 높은 값을 보였고(Table 4), 상대적으로 출현종수가 많은 암반정점에서 풍도지수(R)도 높았다. 출

현종수와 생물량 자료를 근거로 산출한 균등도지수(J')와 다양도지수(H')는 오히려 몽돌정점에서 높게 나타남으로써 몽돌정점이 암반정점보다 해조류의 고른 분포가 나타났다.

Table 4. Various community indices of macroalgal flora for average seaweed biomass (g wet wt./m²) at two different habitats of Sinheung, Jeju Island

Community indices	Habitat type		
	Bedrock	Boulder	Average
Dominance index (DI)	0.74	0.39	0.57
Richness index (R)	7.59	6.71	7.15
Evenness index (J')	0.35	0.59	0.47
Diversity index (H')	1.43	2.22	1.83

3. 무척추동물

1) 종조성

연구 기간에 암반정점에서 저서무척추동물은 총 102종(월별 24~42종)이 출현하였으며, 연체동물(mollusca)이 50종(49.02%)으로 가장 우점하는 분류군이었고, 이 중 복족류가 31종(30.39%), 이매패류가 16종(15.69%)으로 나타났다(Table 5). 다음으로는 절지동물(arthropoda), 극피동물(echinodermata), 환형동물(annelida), 태형동물(bryozoa)의

Table 5. The number of macrobenthos species observed at two different habitats of Sinheung, Jeju Island

Habitat type	Taxon	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Total
Bedrock	Porifera	1	3	1	1	1	1	1	1	3	2	4
	Cnidaria	2	-	1	2	1	2	2	2	2	1	4
	Bryozoa	-	-	1	1	1	2	-	-	4	1	6
	Sipunculida	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1
	Mollusca	15	21	13	15	15	11	11	12	16	21	50
	Annelida	2	2	2	4	2	-	5	3	4	3	7
	Arthropoda	6	3	3	3	3	3	5	2	4	7	16
	Echinodermata	3	3	3	4	3	1	6	6	5	5	10
	Chordata	1	1	1	2	1	3	1	2	1	1	4
Sum	31	34	26	33	28	24	31	29	40	42	102	
Boulder	Porifera	2	1	1	-	1	1	-	1	4	1	9
	Cnidaria	1	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2
	Bryozoa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Sipunculida	1	1	-	-	1	-	1	-	1	1	1
	Mollusca	8	9	9	8	9	9	9	12	10	8	34
	Annelida	1	-	3	2	2	1	2	1	2	2	6
	Arthropoda	2	-	2	2	3	-	2	1	3	1	6
	Echinodermata	1	1	1	1	1	1	-	1	2	2	7
	Chordata	2	2	1	-	2	1	1	1	1	1	2
Sum	18	15	19	15	20	15	16	19	25	17	67	

순서를 보였다. 몽돌정점에 서식하는 저서무척추동물은 월별로 15~25종으로 총 67종이 출현하였으며, 암반정점과 마찬가지로 연체동물이 34종(50.75%)으로 가장 번무하는 분류군이었고, 이 중 복족류가 18종(26.87%), 이매패류가 13종(19.40%)으로 복족류의 종다양성이 높았다. 이외에도 해면동물(porifera), 극피동물, 환형동물, 절지동물 순으로 나타났다.

연구 해역에서 바퀴고둥(*Astraliu haematragum*), 애기돌맛조개(*Lithophaga curta*), 짧은미륵비늘갯지렁이(*Halosydna brevisetosa*)와 분홍명게(*Herdmania monus*)가 포함된 4종은 두 정점에서 10회 조사 중 7회 이상 출현하였다. 이 외에도 암반정점에서는 경해면류(*Hadromerina*)와 소라(*Turbo cornutus*)가 연중 출현하였고, 상어껍질별벌레(*Phascolosoma scolops*), 탐뿔고둥(*Ergalatax contractus*), 그물무늬무늬(*Pyrene testudinaria subcibraria*), 격판담치(*Septifer keenae*), 털보집갯지렁이(*Diopatra sugokai*), 참옆새우류(*Ampithoe* sp.), 털보긴눈집게(*Paguristes ortmanni*), 뱀거미불가사리(*Ophiarachnella gorgonia*)와 보라성게(*Anthocidaris crassispina*)의 출현빈도가 높게 나타났다. 몽돌정점에서는 거품돌산호(*Alveopora japonica*) 1종이 연중 출현하였으며, 이 외에 긴네모돌조개(*Arca boucardi*), 주름방사룩조개(*Cardita leana*)와 부채게(*Leptodius exaratus*)가 자주 출현하였다.

암반정점에서만 나타나는 종은 총 53종(해면동물 1, 자포

동물 2, 대형동물 6, 연체동물 24, 환형동물 2, 절지동물 10, 극피동물 6, 척삭동물 2종)이었고, 몽돌정점에서만 출현한 종은 총 18종(해면동물 6, 연체동물 8, 환형동물 1, 극피동물 3종)이었다. 암반정점에서는 이끼벌레류와 고온띠무늬(*Columbellopsis bella*)과 같은 1 cm 이하인 소형 복족류와 절지동물이 많이 출현하였으며, 몽돌정점에서는 해면류가 다수 발견되었다.

2) 개체밀도 및 생물량

저서무척추동물의 개체수는 암반정점에서 평균 106.9 indivi./m² (월별 52.0~157.3 indivi./m²)이었으며 몽돌정점에서는 36.0~86.0 indivi./m² (평균 64.6 indivi./m²)로서 암반정점에서 몽돌정점에 비해 약 2배 높게 나타났다(Figure 5). 분류군별 개체수는 두 정점에서 모두 연체동물이 57.36% (61.3 indivi./m²)와 65.94% (42.6 indivi./m²)로 가장 높았다(Figure 6). 이외에도 암반정점에서는 극피동물(12.1 indivi./m², 11.35%)과 절지동물(11.3 indivi./m², 10.60%)이 우점하였으나, 몽돌정점에서는 환형동물과 척삭동물이 동일하게 54.0 indivi./m² (8.36%)였다.

월별 저서동물 개체수를 보면, 암반정점에서는 11월에 157.3 indivi./m²으로 최대였고, 이때 바퀴고둥(26.7 indivi./m²)과 탐뿔고둥(16.0 indivi./m²)의 개체수가 높게 나타났다. 개체수가 가장 낮은 4월에는 바퀴고둥(6.7 indivi./m²)과 줄

꼬마담치(*Musculus viridulus*, 5.3 indivi./m²)의 개체수가 많았으나 종 별 차이는 보이지 않았다. 몽돌정점에서 저서동물 개체수는 10월에 86.0 indivi./m²으로 최대였고, 주요종은 애기돌맏조개(10.0 indivi./m²)와 부채게(10.0 indivi./m²)였다. 또한, 2월에는 저서동물 개체수가 최저였으며, 종 별 개체수 차이는 없었다.

연평균 생물량은 암반정점에서 871.93 g wet wt./m² (월 별, 232.56~1,658.64 g/m²), 몽돌정점에서 984.28 g wet wt./m² (152.80~1,948.72 g/m²)로 두 정점 사이의 차이는 보이지 않았다(Fig. 5). 분류군별 생물량은 암반정점에서 연체동물이 564.57 g/m² (64.75%), 극피동물 150.61 g/m² (17.27%), 자포동물 99.07 g/m² (11.36%)의 순서로 나타났고, 몽돌정점에서는 자포동물(771.72 g/m², 78.40%)과 연체동물(176.71 g/m², 17.95%)이 높은 비율을 보였다(Figure 6).

월별 생물량을 보면, 개체밀도와 마찬가지로 암반정점에서는 11월에 1,658.64 g/m²로 최대였고, 소라(1,334.93 g/m²)와 바퀴고둥(176.15 g/m²)의 생물량이 높았다. 생물량이 최저로 나타난 4월에는 보라성게(94.43 g/m²), 바퀴고둥(46.05 g/m²), 빨강불가사리(*Centonardoa semiregularis*, 44.04 g/m²)가 주요종으로 확인되었다. 몽돌정점에서는 10월에 최

대 생물량을 보였고, 거품돌산호(879.34 g/m²)와 소라(733.12 g/m²)가 주요종이었으며, 최저 생물량을 보인 2월에는 거품돌산호(125.88 g/m²)가 전체 생물량의 대부분을 차지하였다.

3) 우점종

암반정점에 서식하는 무척추동물 중 연간 평균 개체수가 최대인 종은 바퀴고둥(27.3 indivi./m², 25.56%)이었으며, 그 다음은 분홍명게(6.8 indivi./m², 6.36%)였다(Table 6). 몽돌정점에서는 얼룩덜룩갈줄고둥(*Bittium alutaceum*)이 8.8 indivi./m²로 개체수가 최대였고, 바퀴고둥(8.05%), 애기돌맏조개(7.12%)와 분홍명게(7.12%)도 출현함으로써 암반정점에 비해 다양한 종이 상위 5% 이상을 차지하고 있었다.

우점종들의 월별 변화를 보면, 암반정점에서는 바퀴고둥이 연중 우점하였으며, 분홍명게는 5, 7, 10월에 많은 개체가 나타났다. 몽돌정점에서 바퀴고둥은 8~9월에, 얼룩덜룩갈줄고둥은 3, 5~6월에, 애기돌맏조개는 8, 10월, 긴네모돌조개는 8, 11월, 분홍명게는 3월에 많은 개체가 출현하여 우점종이 시기에 따라 다르게 나타났다.

생물량에 따른 우점종은 암반정점에서 소라가 338.99 g/m²로 전체 생물량의 36.40%를 차지하였고, 바퀴고둥(19.18%)과 보라성게(13.61%)가 10% 이상이였다(Table 6). 몽돌정점에서는 자포동물인 거품돌산호(532.78 g/m², 54.13%)와 그물코돌산호(*Psammocora profundaella*, 238.94 g/m², 24.28%)의 생물량이 높게 나타났으며, 그 다음으로 소라가 13.99%를 차지하였다.

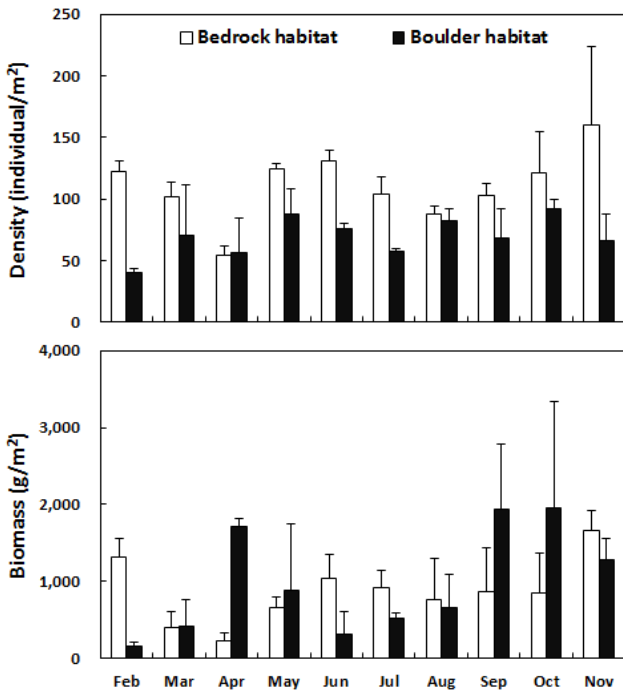


Figure 5. Monthly variations in number of individual and biomass (g wet wt./m²) of macrobenthos at two different habitats of Sinheung, Jeju Island, from February to November 2015. Vertical bars represent standard errors (n = 3 replicates)

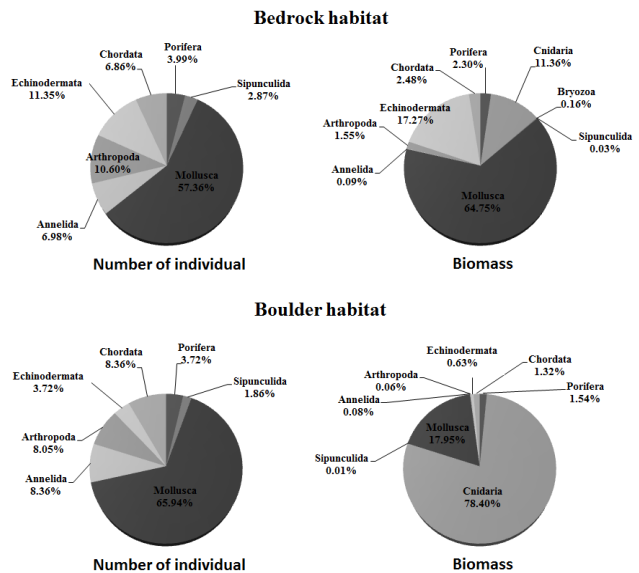


Figure 6. Number of individual and biomass of the macrobenthos at two different habitats of Sinheung, Jeju Island, from February to November 2015

Table 6. Monthly variation number of individual (individual/m²) and mean biomass (g wet wt./m²) of dominant macrobenthos (> 5%) at two different habitats of Sinheung, Jeju Island, from February to November 2015

Habitat / Species		Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Av
No. of individual	Bedrock habitat											
	<i>Astraliium haematragum</i>	29.3	14.7	6.7	36.0	54.7	34.7	24.0	34.7	12.0	26.7	27.3
	<i>Herdmania momus</i>	5.3	5.3	2.7	12.0	9.3	10.7	2.7	2.7	12.0	5.3	6.8
	Other species	84.0	81.3	42.7	72.0	62.7	52.0	58.7	61.3	88.0	125.3	72.8
	Total	118.7	101.3	52.0	120.0	126.7	97.3	85.3	98.7	112.0	157.3	106.9
	Boulder habitat											
	<i>Astraliium haematragum</i>	2.0		2.0			6.0	16.0	18.0	2.0	6.0	5.2
	<i>Bittium alutaceum</i>		16.0	2.0	42.0	26.0		2.0				8.8
	<i>Lithophaga curta</i>	2.0	4.0	2.0	2.0		2.0	14.0	4.0	10.0	6.0	4.6
	<i>Arca boucardi</i>			2.0	6.0	4.0	8.0	10.0	2.0		10.0	4.2
	<i>Herdmania momus</i>	2.0	16.0	8.0		4.0	8.0	4.0	2.0		2.0	4.6
	Other species	30.0	30.0	32.0	32.0	40.0	28.0	32.0	36.0	74.0	38.0	37.2
	Total	36.0	66.0	48.0	82.0	74.0	52.0	78.0	62.0	86.0	62.0	64.6
	Biomass	Bedrock habitat										
<i>Psammocora profundacella</i>		40.16					155.97	32.92	316.08	265.72	7.84	81.87
<i>Turbo cornutus</i>		507.20	215.88	6.24	328.43	120.47	250.23	364.05	154.67	107.77	1334.93	338.99
<i>Astraliium haematragum</i>		209.27	71.84	46.05	216.07	401.76	236.08	149.68	212.85	66.75	176.15	178.65
<i>Anthocardia crassispina</i>		482.51	9.08	94.43	24.48	358.87	108.55	11.59		134.97	42.65	126.71
<i>Herdmania momus</i>		6.13	8.49	4.88	44.92	20.77	33.87	1.99	3.71	7.63	3.00	13.54
Other species		80.13	105.84	80.96	40.11	132.39	129.91	211.61	177.29	269.39	94.07	132.17
Total		1325.40	411.13	232.56	654.00	1034.25	914.60	771.84	864.60	852.23	1658.64	871.93
Boulder habitat												
<i>Alveopora japonica</i>		125.88	316.82	362.00	582.68	70.54	455.34	575.06	842.60	879.34	936.54	532.78
<i>Psammocora profundacella</i>				677.87	290.80		8.58		840.80	232.40		238.94
<i>Turbo cornutus</i>				34.24		215.44			121.32	733.12	256.16	137.74
Other species		26.92	107.02	63.65	12.78	36.48	51.98	93.32	137.56	103.86	82.80	74.82
Total		152.80	423.84	1706.64	886.26	322.46	515.90	668.38	1942.28	1948.72	1275.50	984.28

우점종의 월별 생물량 변화를 보면, 암반정점에서는 소라가 4월을 제외한 전 연구 기간에 우점하여 나타났으며, 특히, 11월에는 1,334.93 g/m²의 생물량을 보여 전체 생물량의 80.48%를 차지하는 극우점종이었다. 바퀴고둥은 연중 우점하였으며, 보라성게는 2, 6~7월, 10월에, 분홍멍게는 5~7월에 높은 생물량을 보였다. 몽돌정점에서는 거품돌산호가 연중 우점하였고, 그물코돌산호는 4~5월과 9~10월에 높은 생물량을 보였다. 즉, 암반정점에서는 복족류가 우점하였으며, 반면에 몽돌정점에서는 돌산호류가 전체 생물량의 75% 이상을 차지하는 분류군으로 확인되었다.

Table 7. Various community indices of macrobenthos for mean biomass (g wet wt./m²) at two different habitats of Sinheung, Jeju Island

Community indices	Habitat type		
	Bedrock	Boulder	Average
Dominance index (DI)	0.56	0.78	0.67
Richness index (R)	14.77	9.58	12.18
Evenness index (J')	0.45	0.32	0.39
Diversity index (H')	2.07	1.36	1.72

4) 군집지수

우점도지수(DI)는 암반정점에서 0.56으로 소라와 바퀴고둥이 전체 생물량의 55.59%를 보였고, 몽돌정점에서는 제 1, 2 우점종인 거품돌산호와 그물코돌산호의 생물량이 전체 생물량의 78.40%를 차지하였다(Table 7). 풍도지수(R)는 상대적으로 출현종수가 많은 암반정점에서 14.77로 높게 나타났고, 균등도지수(J')와 다양도지수(H')도 암반정점에서 높은 값을 보였다. 몽돌정점에서는 돌산호류가 주로 우점하여 암반정점에 비해 종다양성이 낮았다.

고찰

제주 해역은 대마난류수의 확장과 기후변화 등으로 인해 열대 및 아열대성 생물들이 서식하여 종다양성이 높은 생태계를 형성하고 있다(Ko *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2013). 본 연구가 수행된 신흥해역에서 출현한 해조류는 총 68종이었으며, 생물량은 1,025 g wet wt./m²이었다. 제주 8개 해역(온평, 위미, 법환, 대포, 화순, 한림, 외도, 함덕)의 조하대에서 출현한 해조류의 종수는 70~119종으로서(Lee *et al.*, 1998), 본 연구해역에 비해 출현종수가 많았으나, 인근에

위치한 온평(39종, 643 g/m², Kim *et al.*, 2013)과 신흥(44종, 166 g/m², Kim *et al.*, 2015)에 비해서는 종수와 생물량이 높게 나타났다. 또한, 제주 남부의 위미에서 출현한 해조류의 종수(67종)는 유사하였으나, 생물량은 다소 낮았다(Kang *et al.*, 2015). 본 연구에서 저서무척추동물은 총 120종이 출현하였으며, 연평균 개체수 및 생물량은 각각 86 indivi./m²와 928 g wet wt./m²로서, 출현종수는 제주 북부 연안의 135종(Lee *et al.*, 1989), 저서동물 다양성 보고의 173종(Je *et al.*, 2002)에 비해 적었으나, 제주 남부(97~104종)와 동부(53~75종)에 비해 많은 종이 출현함으로써(Lee *et al.*, 2001; Lee and Hyun, 2002; Ko *et al.*, 2011), 연구해역인 신흥의 저서생물상은 인근 해역에 비해 종다양성이 높은 것으로 확인되었다.

조하대 지역의 저서생물상은 극심한 환경 변화(고온, 고염, 건조 등)의 영향을 받는 조간대와는 다르게 수심, 조류, 기질에 의해 영향을 받는다고 알려져 있으며(Neushul, 1967), 이 중에서 기질이 일차적인 환경 요소로 기록되어 있다(Shepherd and Womersley, 1981). 본 연구 해역인 신흥의 조하대(수심 10 m)에서 기질 특성(암반, 몽돌)은 해조류와 무척추동물의 종조성, 생물량 및 우점종의 차이를 결정한다는 것을 확인하였다. 해조류는 암반정점에서 총 57종, 몽돌정점에서는 총 42종이 출현하였고, 윗가치잡깃풀, 홍실외깃풀과 같은 소형 해조류(미소조)가 다수 출현한 암반정점에서 출현종수가 높았다. 또한, 해조류의 연평균 생물량은 암반정점에서 1,603 g/m²으로 몽돌정점에 비해(448.85 g/m²) 약 4배 높은 것으로 확인되었는데, 이는 켈프종인 감태의 생물량 차이에 기인한 것으로 나타났다. 갈조류 감태는 암반이나 직경 50 cm 이상의 몽돌에 부착하여 서식하지만, 작은 자갈에는 약 10%만이 부착한다고 알려져 있다(Konno, 1985). 본 연구에서 감태는 암반정점에서 해조류 전체 생물량의 63%를 차지하였으나, 몽돌정점에서는 전체 생물량의 18%를 차지하였다. 저서무척추동물의 출현종수는 암반정점에서 102종으로 몽돌정점의 67종에 비해 많았으며, 이는 연체동물과 절지동물의 종다양성의 차이였다. 선행연구에서 다양한 저서무척추동물이 암반 표면, 틈새나 공간에 서식한다고 하였으며(Ko *et al.*, 2008), 암반기질에서 연체동물의 생물다양성이 비교적 우세하다는 결과와 유사하였다(Seo *et al.*, 2010). 또한, 소형 복족류 및 다모류 등 다양한 저서동물이 염상해조류와 감태, 대황과 같은 대형 갈조류의 부착기에서 서식하는 것으로 기록되었는데(Ahn *et al.*, 2000; Park *et al.*, 2014), 본 연구에서도 감태가 우점하는 암반정점에서 무척추동물의 종다양성이 높았다. 두 정점에서의 저서무척추동물의 출현종수 차이와는 다르게 이들의 생물량은 암반정점(871.93 g/m²)보다 몽돌정점(984.28 g/m²)에서 다소 높게 나타났는데, 이는 몽돌정점에

서 암반정점의 생물(소라와 바퀴고둥 등)에 비해 상대적으로 무게가 많은 자포동물인 돌산호류(거품돌산호, 그물코돌산호)가 우점종이기 때문으로 확인되었다.

해조류 출현종의 형태와 크기에 따라 분류한 기능형군과 우점종을 분석한 결과, 암반정점에서는 켈프형인 감태(생물량, 1,003 g/m²)가 우점하였으며, 그 다음으로 넓은게발, 들레게발혹 및 방황게발혹 같은 산호조류(465 g/m²)가 높게 나타났는데, 이는 제주 해역에서 감태와 산호조류가 우점한다는 선행 연구의 결과와 유사하였다(Oak *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2013). 반면, 몽돌정점에서는 제주 연안에서 흔히 관찰되는 대형갈조류인 감태가 아닌 소형의 하층해조류형이 우점하였다. 광의 경쟁에서 우세한 대형갈조류가 존재하는 연안에서는 하층부의 소형해조류의 종다양성과 풍도가 낮으며(Dayton *et al.*, 1992; Schmidt and Scheibling, 2007), 대형갈조류를 제거된 곳에서는 충분한 광을 확보한 하층해조류의 생물량이 증가하는 것으로 알려져 있다(Clark *et al.*, 2004). 본 연구에서 감태 생물량이 낮은 몽돌정점에서는 누운청각, 자루바다표고, 갈래곰보 등 하층해조류의 생물량이 높게 나타남으로써 동일수심에서도 기질에 따라서 우점하는 해조류의 기능형군이 다르다는 것을 확인하였다.

본 연구해역에서 출현한 저서생물 중 선행연구 결과와 뚜렷한 차이를 보이는 종은 해조류인 갈래곰보(*Meristotheca papulosa*)였다. 갈래곰보는 제주연안에서 Kang (1960)에 의해 1960년에 최초로 보고되었으며, 이후 많은 해조상 연구에서 출현하였으나 생물량은 0.1~12.2 g/m²로 매우 낮게 기록되었다(Lee *et al.*, 1998; Oak *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2015). 하지만, 본 연구 해역의 몽돌정점에서 갈래곰보의 연평균 생물량은 33 g/m²이었으며, 최대 생장을 보이는 6~7월의 생물량은 74~116 g/m²로 높게 나타남으로써 신흥해역이 갈래곰보가 번무하는 자연 군락지로 판단된다. 갈래곰보는 최저 수온이 12~13℃ 이상의 해역에서 서식하며, 성장 적온이 20~24℃인 아열대성 남방계 해조류로 알려져 있다(Lideman *et al.*, 2011). 이 종은 식감이 우수하여 가장 선호하는 해조류 샐러드로 알려져 있으며, 제주에서 채취되는 생산량의 전량이 고가로 수출되는 유용 해조류이다. 하지만, 해양수산현황 자료에 따르면, 1990년대에 40~100톤이던 연간 생산량이 점차 감소하다가 2007년 이후 생산량이 없다고 기록되고 있다. 이러한 급격한 감소의 원인은 지구온난화로 인한 수온상승과 같은 환경요인보다는 남획에 의한 것으로 판단되며, 특히, 성숙시기인 7~8월에 무분별한 채취가 중요한 요인으로 추측된다. 따라서, 갈래곰보와 같은 경제종의 지속가능한 이용을 위해서는 어업인에게 종의 생리 및 생활사를 이해시키고 소득증대를 위해서 성숙시기에 채취를 금지하는 법적 조치가 필요하며, 더불어 갈래곰보에 대한 생리·생태 및 개체군 연구가 지속

적으로 이루어져야 할 것이다. 나아가, 경제종의 개체군 보존 및 생산을 위한 중요생산기술에 대한 연구도 병행되어야 할 것이다.

결론적으로 본 연구가 수행된 신흥해역의 암반정점에서는 해조류 57종과 무척추동물 102종이 출현하였고, 몽돌정점에서는 해조류 42종과 무척추동물 67종이 관찰되어 기질은 종다양성을 결정하고 암반기질에서 저서생물의 출현종수가 높은 것으로 나타났다. 해조류 생물량도 암반정점이 1,601 g/m²으로 몽돌정점의 449 g/m²보다 약 4배 높았고, 우점종은 암반정점에서 켈프형인 감태, 그리고 몽돌정점에서는 하층해조류형(붉은뼈까막살, 자루바다표고, 갈래곰보)이 높은 생물량을 보임으로써 기질에 따라 우점하는 해조류 기능형과 생물량이 변화한다는 것을 확인하였다. 저서 무척추동물의 생물량은 암반정점에서 872 g/m²으로서 몽돌기질의 984 g/m²에 비해 다소 낮았으며, 암반정점에서는 소라, 바퀴고둥과 같은 연체동물이, 몽돌정점에서는 자포동물인 돌산호류(거품돌산호, 그물코돌산호)가 우점하는 차이를 보였다.

감사의 글

본 연구는 국립수산물품질관리원 제주수산연구소 「제주주변 연근해 어업 및 환경생태조사, R2016034」 과제의 일환으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Ahn, H.D., J.G. Je, R.S. Kang and K. Honma(2000) Early succession stage of two experimental artificial reefs to enhance coastal resources in Jeju Island. *Underwater Sci. Tech.* 2(1): 18-26. (in Korean with English abstract)
- Britton-Simmons, K.H.(2006) Functional group diversity, resource preemption and the genesis of invasion resistance in a community of marine algae. *OIKOS* 113: 395-401. <http://dx.doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14203.x>.
- Burd, B.J., P.A.G. Barner, C.A. Wright and R.E. Thomson(2008) A review of subtidal benthic habitats and invertebrate biota of the strait of Georgia, British Columbia. *Mar. Environ. Res.* 66: S3-S38.
- Cha, S.H., K.W. Lee and Y.J. Jeon(2006) Screening of extracts from red algae in Jeju for potentials marine angiotensin-I converting enzyme (ACE) inhibitory activity. *Algae* 21(3): 343-348.
- Choe, B.L.(1992) Illustrated Encyclopedia of Fauna and Flora of Korea Vol. 33 Mollusca(II). Ministry of education, Seoul, 860pp. (in Korean)
- Clark, R.P., M.S. Edwards and M.S. Foster(2004) Effects of shade from multiple kelp canopies on an understory algal assemblage. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 267: 107-119.
- Cohen, E.B., M.D. Grosslein, M.P. Sissenwine, F.W. Steimle and W.R. Wright(1982) An energy budget of Georges Bank. In: Mercer, M.C. (ed.) Multi-species approaches to fisheries management advice. *Can. Spec. Pub. Fish. Aquat. Sci.* 59: 95-107.
- Dai, A. and S. Yang(1991) Crabs of the China Sea. China Ocean Press Beijing, 606pp.
- Dayton, P.K., M.J. Tegner, P.E. Parnell and P.B. Edwards(1992) Temporal and spatial patterns of disturbance and recovery in a kelp forest community. *Ecol. Monogr.* 62(3): 421-445.
- Fletcher, R.L. and M.E. Callow(1992) The settlement attachment and establishment of marine algal spores. *Br. Phycol. J.* 27(3): 303-329. <http://dx.doi.org/10.1080/00071619200650281>
- Fowler, J. and L. Cohen(1990) Practical Statistics for Field Biology. John Wiley & Sons, Inc., New York, U.S.A., 227pp.
- Guiry, M.D. and G.M. Guiry(2016) Algaebase. National University of Ireland, Galway, Ireland Available from: <http://www.algaebase.org>. on Aug 3, 2016.
- Hong, S.Y.(2006) Marine Invertebrates in Korean Coasts. Academy Publishing Company, Inc., 479pp. (in Korean)
- Je, J.G., B.J. Ko, H.G. Lee, B.I. Kim, S.H. Shin, S.W. Lee and J.H. Lee(2002) Habitats and zoobenthic species diversity in the coast of Jeju Island, Korea: as a baseline study for conserving coastal and marine biological diversity. *Kor. Soc. Underwater Sci. Tech.* 3: 7-117.
- Kang, G.S., Y.D. Ko and Y.S. Kim(2015) Flora and community structure of subtidal zone in South Jeju, Korea. *J. Fish. Mar. Sci. Edu.* 27(1): 273-283. <http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2015.27.1.273>. (in Korean with English abstract)
- Kang, J.W.(1960) The summer algal flora of Cheju Island (Quelpart Island). *Bull. Pusan Fish. Coll.* 3: 17-23.
- Kim, B.Y., J.C. Ko, J.B. Kim and H.G. Choi(2015) Spring macroalgal flora and community structure in subtidal zone around coasts of Jeju Island, Korea. *Kor. J. Nat. Conserv.* 9(2): 92-104. <http://dx.doi.org/10.11624/KJNC.2015.9.2.092>. (in Korean with English abstract)
- Kim, B.Y., J.C. Ko, H.J. Ko, S.E. Park, H.K. Cha and H.G. Choi(2013) Seasonal variation in community structure of subtidal seaweeds in Jeju Island, Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* 46(5): 607-618. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0607>. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.H.(1991) Marine algal resources in Cheju Island. *J Cheju Studies* 8: 137-156.
- Ko, J.C., H.J. Ko, B.Y. Kim, H.K. Cha and D.S. Chang(2012) Distribution characteristic of exploitable macrobenthic invertebrates of beach sediments in the Southern coastal water of Jeju Island. *Korean J. Malacol.* 28(3): 197-213. <http://dx.doi.org/10.9710/kjm.2012.28.3.197>. (in Korean with English ab-

- stract)
- Ko, J.C., J.H. Koo, S.J. Lee, D.S. Chang and S.H. Jo(2011) Community structure of macrobenthic invertebrates of fishing grounds in the coastal waters of Jeju Island. *Korean J. Malacol.* 27(3): 229-246. (in Korean with English abstract)
- Ko, J.C., J.H. Koo and M.H. Yang(2008) Characteristics of ocean environmental factors and community structure of macrobenthos around Munseom, Jeju Island, Korea. *Korean J. Malacol.* 24(3): 215-228. (in Korean with English abstract)
- Konno, T.(1985) Vegetation component of *Sargasum confusum* and *Ecklonia cava* bed. *Ocean Sci.* 17(1): 57-65.
- Lee, J.J. and J.M. Hyun(2002) Species diversity and community structure of macrobenthic invertebrate inhabiting the intertidal zone near Songacksan Area, Jeju Island. *Korean J. Malacol.* 18(1): 41-52. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.J., K.C. Kang and J.C. Kim(2001) Spatial species diversity of macrobenthos in the intertidal zone of Hwasoon, Jeju Islands. *Korean J. Malacol.* 17(1): 63-70. (in Korean with English abstract)
- Lee, J.J., C.I. Zhang and U.S. Cho(1989) Community structure of the ecosystem on the intertidal zone and grass land in Cheju Island - Distribution and community structure of benthic macroinvertebrates. *Korean J. Malacol.* 5(1): 10-28. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.W., C.H. Shon and S.C. Chung(1998) Marine algal flora and grazing effect of sea urchins in the coastal waters of Cheju Island. *J. Aquaculture* 11(3): 401-419. (in Korean with English abstract)
- Lee, Y.P. and S.Y. Kang(2002) A Catalogue of the Seaweeds in Korea. Cheju National University Press, Cheju, 662pp. (in Korean)
- Lee, Y.P. and I.K. Lee(1976) On the algal community in the intertidal belt of Jeju Island. 1. Algal community of spring season. *Korean J. Bot.* 19(4): 111-118. (in Korean with English abstract)
- Lideman, G.N. Nishihara, T. Noro and R. Terada(2011) In vitro growth and photosynthesis of three edible seaweeds, *Betaphycus gelatinus*, *Euclima serra* and *Meristotheca papulosa* (Solieriaceae, Rhodophyta). *Aquaculture Sci.* 59(4): 563-571.
- Malm, T. and M. Isæus(2005) Distribution of macroalgal communities in the central Baltic Sea. *Ann. Bot. Fennici.* 42: 257-266.
- Margalef, R.(1958) Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 3: 36-71.
- Mathieson, A.C.(1979) Vertical distribution and longevity of subtidal seaweeds in northern New England, USA. *Bot. Mar.* 22(8): 511-520.
- McIntyre, A.D. and A. Eleftheriou(1968) The bottom fauna of a flatfish nursery ground. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 48(1): 113-142.
- McNaughton, S.J.(1967) Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature* 216: 168-169.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2010) Standard methods of marine environment in Korea.
- Neushul, M.(1967) Studies of subtidal marine vegetation in western Washington. *Ecology* 48(1): 83-94.
- Nishimura, S.(1995) Guide to Seashore Animals of Japan with Color Picture and Keys, Vol. II. Hoikusha, Tokyo, 425pp.
- Oak, J.H., Y.S. Keum, M.S. Hwang and Y.S. Oh(2004) Subtidal algal community of Supseom and Seongsanpo in Jeju Island. *Underwater Sci. Tech.* 5(1): 3-9. (in Korean with English abstract)
- Oh, Y.S., I.K. Lee and S.M. Boo(1990) An annotated account of Korean economic seaweeds for food, medical and industrial uses. *Kor. J. Phycol.* 5(1): 57-71.
- Okutani, T. and T. Habe(1990) The mollusks of Japan. Gakken Illustrated nature encyclopedia. Gakken Pub. Co., Tokyo, 301pp.
- Orfanidis, S., P. Panayotidis and N. Stamatis(2001) Ecological evaluation of transitional and coastal and water; A marine benthic macrophytes-based model. *Medit. Mar. Sci.* 2: 45-65.
- Park, S.K., J.R. Lee, J.S. Heo, D.S. An, H.P. Lee and H.G. Choi(2014) Marine algal flora and ecological role of *Eisenia bicyclis* in Dokdo, East Sea, Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 28(6): 613-626. <http://dx.doi.org/10.13047/KJEE.2014.28.6.613> (in Korean with English abstract)
- Parsons, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli(1984) A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford, U.K., 173pp.
- Pearson, T.H. and R. Rosenberg(1978) Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 16: 229-311.
- Scherner, H., P.A. Horta, E.C. de Oliveira, J.C. Simonassi, J.M. Hall-Spencer, F. Chow, J.M.C. Nunes and S.M.B. Pereira (2013). Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic. *Mar. Pollut. Bull.* 76(1): 106-115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.09.019>.
- Schmidt, A.L. and R.E. Scheibling(2007) Effects of native and invasive macroalgal canopies on composition and abundance of mobile benthic macrofauna and turf-forming algae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 341(1): 110-130.
- Seo, I.S., B.M. Choi, M.H. Kim, J.S. Yun, J.Y. Park and S.Y. Lee(2010) A comparative study on a macrobenthic community structure from the theory of Island biogeography. *Korean J. Environ. Biol.* 28(4): 179-187. (in Korean with English abstract)
- Shepherd, S.A. and H.B.S. Womersley(1981) The algal and sea-grass ecology of Waterloo Bay, South Australia. *Aquat. Bot.*

- 11: 305-371.
- Shin, J.D., J.K. Ahn and Y.H. Kim(2011) Structure of the subtidal marine plant community on the East Coast of Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.* 44(1): 85-94. (in Korean with English abstract)
- Silva, I.B., M.T. Fujii and E. Marinho-Soriano(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(4): 889-893. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-695X2012005000078>.
- Terawaki, T., H. Hasegawa, S. Arai and M. Ohno(2001) Management-free techniques for restoration of *Eisenia* and *Ecklonia* beds along the central Pacific coast of Japan. *J. Appl. Phycol.* 13(1): 13-17. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008135515037>.
- Thouzeau, G., G. Robert and R. Ugarte(1991) Faunal assemblages of benthic megainvertebrates inhabiting sea scallop grounds from eastern Georges Bank, in relation to environmental factors. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 74(1): 61-82.
- Warwick, R.M. and K.R. Clarke(1993) Comparing the severity of disturbance. A meta-analysis of marine macrobenthic community data. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 92: 221-231.
- Wells, E., M. Wilkison, P. Wood and C. Scanlan(2007) The use of macroalgal species richness and composition on intertidal rocky seashores in the assessment of ecological quality under the European water framework directive. *Mar. Pollut. Bull.* 55(1): 151-161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.08.031>.
- Yoo, J.S.(2003) Community dynamics of benthic marine algae in the intertidal and subtidal rocky shore of Samyang, Jeju Island. *Algae* 18(4): 301-309.
- Yoon, C.T.(1985) Flora of marine algae in Cheju Island. MSc Thesis, Jeju National University, Jeju, Korea, 31pp.