

동해안 남부 하정 연안의 조하대 해조류 군집구조의 계절적 변화

김영대 · 박미선 · 유현일 · 민병화 · 문태석 · 최한길^{1*}

국립수산과학원 동해수산연구소, ¹원광대학교 생명과학부/기초자연과학연구소

Seasonal Variation in Subtidal Seaweed Community Structure at Hajung, on the Southeast Coast of Korea

Young Dae Kim, Mi Seon Park, Hyun Il Yoo, Byung Hwa Min,
Tae Seok Moon and Han Gil Choi^{1*}

East Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Kangneung 210-860, Korea

¹Faculty of Biological Science and Institute for Basic Science, Wonkwang University, Jeonbuk 570-749, Korea

Subtidal benthic macroalgal flora and community structure on barren grounds were examined seasonally along vertical shore gradients on the rocky shore of Hajung, Pohang, on the southeast coast of Korea, from February 2005 to November 2006. Twenty-six seaweed species were identified, including 5 green, 7 brown, and 14 red algae. The number of seaweed species ranged between 7 and 17 among seasons and between 13 and 20 species were found in vertical gradients along the shore. Over the study period, average seaweed biomass (g wet wt/m²) was 299.88 g and it ranged seasonally from 120.99 to 620.00 g. Seaweed biomass declined with increasing seawater depth and ranged between 323.06 and 593.68 g. The dominant seaweed species, in terms of biomass, were *Desmarestia ligulata* and *Sargassum honeri*, which grew at depths between 5 and 10 m. The red alga *Delisea pulchra* was also abundant at a depth of 15 m. No seasonal patterns were found in community indices. Along vertical shore gradients, community indices showed different patterns; the dominance index increased and the richness, evenness, and diversity indices decreased with seawater depth.

Key words: Algal flora, Biomass, Community, Diversity, Seaweed

서론

해조류는 연안생태계에서 광합성을 통하여 산소를 생성하고 해수의 영양염을 흡수하여 성장하는 일차생산자로서, 그리고 어패류의 산란장, 서식처 및 은신처를 제공함으로써 생태학적으로 매우 중요한 역할을 한다(Lindstrom, 2009). 또한, 해조류는 한국, 일본과 중국에서 오래 전부터 식용되어 대량으로 해면양식이 이루어지고 있다(Sohn, 1996). 최근에 해조류는 다양한 항암, 항균 및 기능성 물질을 함유하는 것으로 밝혀져 의약품의 원료로서 관심이 증대되고 있으며(Worm et al., 2000), 바이오에너지와 이산화탄소 저감 등의 연구소재로 활용되고 있다(Chunhan, 1987; Gao and McKinley, 1994; Horn et al., 2000).

Kang (1966)은 한국연안을 수온과 조류 등에 의한 해조류 분포를 기준으로 동해 북부, 동해 남부, 남해안, 서해안 및 제주도의 5개 해역으로 구분하였으며, 이중 동해 북부는 원산만 이북을, 동해 남부는 원산만에서 울산의 울기곶으로 한정하였다. 그러나 지난 40여 년의 환경변화와 이후 수행된 연구를 통하여 동해 중부와 남부 해역 해조류 분포의 차이점이 밝혀졌으며(Kim

et al., 2010), 해조류의 수직분포도 동해 중부에서는 수심 30 m 까지 확인된 반면에 동해 남부의 포항에서는 수심 15 m 이내로 생육이 한정되어 동해 중·북부 해안과 차이가 있었다(NFRDI, 2007).

우리나라 연안의 해조류에 대한 연구는 Okamura (1892)의 기록이 최초이며, 이후 Kang (1966)이 총 414종의 해조류를 보고하였다. 동해안 해조류 군집에 대한 연구의 대부분은 접근이 용이한 조간대에서 수행되었으며(Boo and Lee, 1986; Boo, 1987; Lee and Lee, 1988; Lee et al., 1993; Lee and Kim, 1999), 조하대 해조군집에 대한 연구는 매우 드물다(Chung et al., 1991; Shin et al., 2008a, b; Choi et al., 2009). 최근에 수행된 고성군 대진해역의 해조군집에 대한 연구는 동해안 조하대에 관한 연구로 좋은 모델이 되고 있지만, 갯녹음과 생태학적 특성에 대한 연구 자료는 부족한 실정이다(Shin et al., 2008a, b; Kim et al., 2010). 이외에도 동해 남부 포항 해역에서 해조류의 계절별 출현종과 주요종에 대한 선행 연구가 수행되었으나(Lee and Kim, 1977; Nam et al., 1996), 갯녹음이 보고된 이후(NFRDI, 2004)에 해조류의 군집구조 변화에 대한 연구는 매우 빈약한 편이다.

암반해안에서 무절산호조류가 번무하는 갯녹음의 원인에는

*Corresponding author: hgchoi@wku.ac.kr

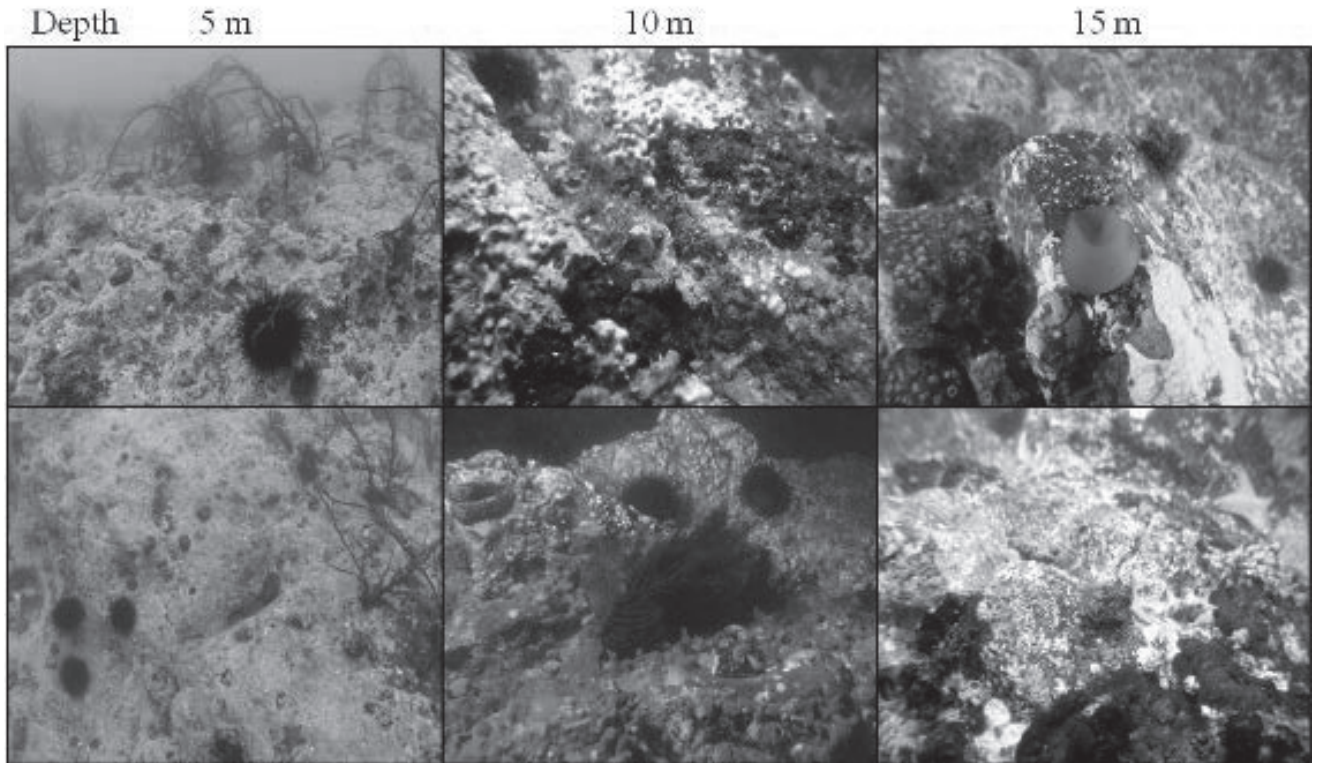


Fig. 1. Features of crustose coralline algae at the barren ground of Hajung, Pohang, southeast coast of Korea during the study period.

여러 가지 가설이 보고되었지만, 크게 초식동물적 측면과 환경적 요인으로 구분된다. 초식동물적 요인은 무절산호조류의 성장을 저해하는 엽상형 해조류가 초식동물에 의해 선택적으로 섭식됨으로써 서식할 수 있는 기질이 증가되어 무절산호조류가 번무한다는 것이다(Paine and Vadas, 1969; Breitbart, 1984; Figueiredo et al., 1996). 한편, 환경적 요인은 여러 가지가 존재하지만, 그 중에서 특히 최근 해수 온도의 상승으로 인하여 성장 및 번식능력이 증가한다는 것이다. 일반적으로 무절산호조류는 온도가 높은 여름철에 빠른 성장과 높은 생식력을 나타내는 것으로 알려져 있으며(Johansen, 1981; Choi et al., 2002), 무절산호조류의 배아도 고온에서 빠르게 성장한다(Ichiki et al., 2000). 이외에도 거대 해조류의 과잉 수확, 무절산호조류의 박리현상(sloughing), 인간활동(매립, 간척, 항만 및 도로 건설)에 의한 부유물질 유입, 수질오염 등이 무절산호조류 번무의 원인으로 추정된다(Johnson and Mann, 1986; Suzuki et al., 1998; Terawaki et al., 2001).

갯녹음으로 인한 해조류의 감소는 연안의 부영양화를 촉진시키고 초식자인 유용 패류(전복, 소라, 성게 등)와 해조류를 산란장과 생육장으로 이용하는 어류 자원(자리돔, 쥐치, 독가시치 등)의 감소를 초래하여 연안어장을 황폐화시킨다. 갯녹음 발생 과정은 갯녹음 초기, 진행 및 심화의 3단계로 구분되며, 해조류의 출현종수와 생물량이 적고 무절산호조류의 피복 범위가 확

대되며, 해조류의 조식생물인 성게류가 과밀하게 서식하는 것이 특징이다(Terawaki et al., 2001; Kim et al., 2007). 본 연구지역인 포항시 하정리 해역은 갯녹음이 발생한 것으로 보고되었으며(NFRDI, 2004), 이곳을 포함한 경북 해안의 갯녹음 발생 면적은 2004년에 31.0%로서 동해 중·북부해역인 강원도 연안의 7.0%에 비해 현저히 높은 것으로 기록되었다. 따라서, 본 연구의 목적은 하정 연안의 조하대 해조상과 군집구조의 계절적 그리고 수직적 변화를 파악하여 갯녹음 발생 해역에서의 해조군집에 대한 기초적인 자료를 제공하고 갯녹음 발생 이전에 수행된 인근 해역의 연구결과와 비교하여 갯녹음의 영향을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

채집방법

해조상 및 해조류의 군집구조에 대한 조사는 동해 남부 포항시 하정 연안(35° 57' N, 129° 33' E)에서 2005년 2월부터 2006년 11월까지 2년에 걸쳐 계절별로 실시되었다. 생물량 측정을 위한 정량 조사는 조하대 수심 5, 10, 15 m에 10 cm × 10 cm로 구획된 방형구(50 cm × 50 cm)를 각기 3개씩 놓고, 방형구 내에 출현하는 해조류를 끝칼을 이용하여 모두 채집하였다.

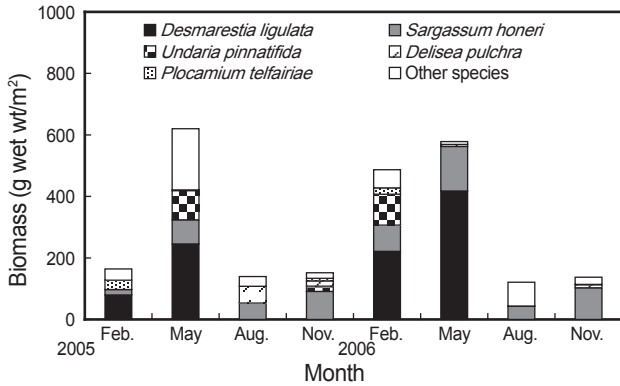


Fig. 2. Seasonal variations of dominant seaweeds in average biomass (g wet wt/m²) in the subtidal rocky shore of Hajung, Pohang, southeast coast of Korea during the study period.

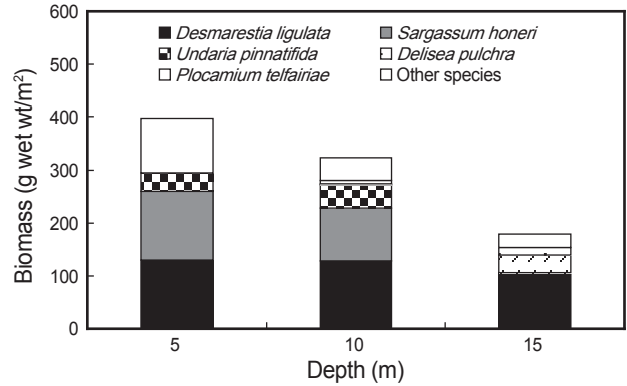


Fig. 3. Vertical distribution of dominant seaweed biomass (g wet wt/m²) in the subtidal rocky shore of Hajung, Pohang, southeast coast of Korea during the study period.

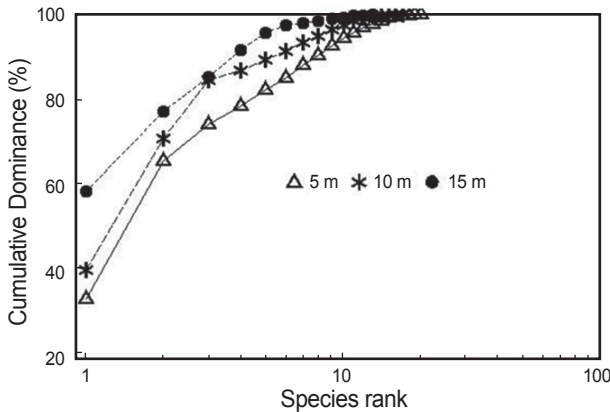


Fig. 4. K-dominance curves (X-axis logged) for average seaweed biomass at the different water depth of subtidal zone at Hajung, Pohang, southeast coast of Korea during the study period.

채집된 재료는 현장에서 10% 포르말린-해수 용액으로 고정시켜 실험실로 운반하여 광학현미경 아래에서 동정하였으며, 해조류 출현종 목록 및 국명은 Lee and Kang (2002)에 따랐다. 생물량은 방형구별로 채집된 분류군 중에서 피도값이 2% 이상인 해조류는 담수로 깨끗이 씻어서 모래 등의 이물질을 제거한 후 종별로 습증량을 0.1 g 수준까지 측정하였고, 이 자료를 단위면적당 생물량(g wet wt/m²)으로 환산하였다. 무절산호조류의 피도는 동일한 크기의 방형구를 이용하여 측정하였고 수심별 특징은 사진 촬영 후에 확인되었다.

연구 해역 해조류 군집의 생태학적 지수는 종조성 및 생물량 자료를 이용하여 풍도 지수(richness index, R; Margalef, 1958), 다양도 지수(diversity index, H'; Shannon, 1948)와 균등도 지수(evenness index, E; Pielou, 1969), 우점도 지수(dominance index; McNaughton, 1967)를 계산하였다. 이때 군집분석은 PRIMER version 6 (Clarke and Gorley, 2006)를 이용하였다. 우점도 지수(dominance index)는 생물량 자료를 이용하여 다음

계산식에 의해 산출되었다.

$$\text{우점도 지수(DI)} = (n1 + n2) / N$$

(n1= 제 1 우점종 생물량, n2= 제 2 우점종 생물량, N = 방형구 내 총 생물량)

결 과

종조성

포항시 하정 연안은 무절산호조류가 조하대 모든 수심에서 높은 피도를 보이는 곳으로(Fig. 1), 2005년 2월부터 2006년 11월까지 2년에 걸쳐 출현한 해조류는 총 26종이었으며, 녹조류 5종(19.23%), 갈조류 7종(26.92%), 홍조류가 14종(53.85%)으로 홍조류 출현종수의 비율이 가장 높았다(Table 1). 2005년에는 24종(녹조 4종, 갈조 6종, 홍조 14종)이 출현하여 2006년의 19종(녹조 2종, 갈조 6종, 홍조 11종)에 비해 출현종수가 많았다. 8회에 걸친 계절별 조사에서 출현종수는 2005년 2월에 7종으로 최소였고 2005년 5월에 17종으로 최대였다. 팽생이모자반(*Sargassum honeri*)과 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*)은 연구기간의 모든 계절(8회)에, 잔금분홍말(*Acrosorium polynurum*)은 7회, 그리고 나도핑꼬리(*Delisea pulchra*)가 6회 출현하였다(Table 1).

수심별 해조류 출현종수는 연구기간 동안 수심 5 m에서 총 20종(녹조 4종, 갈조 7종, 홍조 9종)으로 최대였고 수심 10 m에서는 17종(녹조 3종, 갈조 4종, 홍조 10종), 그리고 수심 15 m에서는 13종(갈조 4종, 홍조 9종)의 해조류가 출현하여 수심이 깊어질수록 출현종수가 감소하였다.

해조류는 생활형에 따라 일년생(annual)과 다년생(perennial)으로 구분되는데, 연구기간에 출현한 해조류 26종 중에서 12종(46.15%)이 다년생이었고, 14종(53.85%)이 일년생이었다. 수심별로 보면, 수심 5 m에서 다년생이 7종(35.00%), 일년생이 13종(65.00%)이었고 10 m에서는 다년생이 8종(47.06%), 일년생이 9종(52.94%)이었으며, 수심 15 m에서는 다년생이 7종

Table 1. Marine algal list, biomass (g wet wt/m²) and life form (F) occurred at the Hajung, southern east coast of Korea during the study period

Species	2005				2006				Life form
	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.	
Chlorophyta									
<i>Ulva linza</i>		0.13	+						A
<i>Ulva pertusa</i>		10.13					4.04		A
<i>Codium arabicum</i>		18.80	2.11						A
<i>Codium fragile</i>								3.91	A
<i>Cladophora sakaii</i>			0.64						A
Phaeophyta									
<i>Leathesia difformis</i>					20.58				A
<i>Colpomenia sinuosa</i>		26.13	0.13		18.85				A
<i>Desmarestia ligulata</i>	79.73	245.80			221.39	417.87			A
<i>Undaria pinnatifida</i>		94.80	+	17.07	100.53				A
<i>Costaria costata</i>		40.40							A
<i>Dictyopteris divaricata</i>		0.67			0.65				P
<i>Sargassum honeri</i>	17.73	78.27	53.12	91.07	85.26	144.50	42.98	102.98	A
Rhodophyta									
<i>Gelidium amansii</i>			4.59		2.26		12.44	9.16	P
<i>Corallina pilulifera</i>	12.13	7.07	1.24	3.20	1.35	2.43	9.75	7.72	P
<i>Lithophyllum okamurae</i>			0.04	10.13					P
<i>Grateloupia elliptica</i>			0.69				5.82		P
<i>Grateloupia turuturu</i>				1.07	8.00				P
<i>Plocamium telfairiae</i>	30.13			8.60	20.45			0.62	P
<i>Gracilaria gigas</i>		8.80							P
<i>Chondrus ocellatus</i>		31.73				0.37			P
<i>Acrosorium polyneurum</i>	6.80	8.27	0.04		6.38	1.49	34.8	0.27	P
<i>Acrosorium yendoii</i>		8.87	22.15		0.90	0.93	8.90		P
<i>Dasya sessilis</i>	16.40	21.33		3.60					A
<i>Laurencia pinnata</i>		16.53				4.11	1.73	2.09	A
<i>Delisea pulchra</i>		2.27	54.64	17.20		6.58	0.53	10.31	P
<i>Polysiphonia morrowii</i>	1.47							0.36	A
No. of species	7	17	13	8	12	8	9	9	
Total biomass	164.39	620.00	139.39	151.94	486.60	578.28	120.99	137.42	

+, Present; A, Annual; P, Perennial.

(53.85%), 일년생이 6종(46.15%)으로 나타나 수심이 깊어질수록 다년생의 비율이 높아졌다.

생물량 및 수직분포

2년의 연구기간 동안, 하정 해역의 해조류 생물량(g wet wt/m²)은 평균 299.88 g이었고 2005년에 평균 268.93 g (139.39-620.00 g)이고 2006년에는 평균 330.82 g (120.99-578.28 g)으로 5월에 최대였고, 8월에 최소였다. 2년간의 분류군별 평균 생물량은 녹조류 4.97 g (1.61%), 갈조류 237.56 g (68.34%), 그리고 홍조류가 57.34 g (30.06%)으로 갈조류가 가장 높은 비율을 차지하였다. 녹조류의 생물량은 2005년에 7.95 g (1.66%)

에서 1.99 g (1.55%)로 약간 감소하였으며, 갈조류는 186.23 g (61.76%)에서 288.90 g (74.91%)로 증가하였지만, 홍조류는 74.75 g (36.57%)에서 39.94 g (23.55%)로 감소하였다(Table 1).

해조류 생물량 자료를 근거로 한 우점종은 120.60 g의 생물량을 보인 산말(*Desmarestia ligulata*)이었으며, 준우점종은 팽생이모자반(76.99 g)이었다. 두 종을 제외하고 10 g 이상의 생물량을 보인 종으로는 갈조류 중에서 미역 1종과, 홍조류에서 나도팽꼬리 1종이 확인되었다(Table 1). 계절별 우점종을 보면, 팽생이모자반은 연구기간 동안 모든 계절에 우점하였고 산말은 2005년 5월과 2006년 2월에 번무하였으며, 미역은 2005년 5월(94.80 g)과 2006년 2월(100.53 g)에 높은 생물량을 보였다

Table 2. Seasonal variations of community indices for species number and mean biomass (g wet wt/m²) at Hajung, southeast coast of Korea during the study period

Community indices	2005				2006			
	Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.
Dominance index (DI)	0.67	0.55	0.77	0.71	0.66	0.97	0.64	0.82
Richness index (R)	1.18	2.49	2.03	1.39	1.78	1.10	1.67	1.63
Evenness index (J')	0.77	0.71	0.55	0.65	0.63	0.35	0.77	0.44
Diversity index (H')	1.50	2.02	1.31	1.35	1.57	0.72	1.70	0.97

Table 3. Various community indices for seaweed flora and mean biomass (g wet wt/m²) at the different water depths in Hajung of Korea

Community indices	5 m	10 m	15 m
Dominance index (DI)	0.65	0.71	0.77
Richness index (R)	3.17	2.77	2.31
Evenness index (J')	0.64	0.58	0.53
Diversity index (H')	1.93	1.65	1.35

(Fig. 2). 나도평꼬리는 2005년의 8월(54.64 g)에 그리고 참곱슬이(*Plocamium telfairiae*)는 2005년 2월(30.13 g)과 2006년 2월(20.45 g)에 생물량이 높았다.

수심별 해조류 생물량을 보면, 수심 5 m에서 397.50 g이고 팽생이모자반(130.08 g)이 전체 생물량의 32.73%를 차지하여 우점종이었고 산말(129.52 g, 32.58%)이 준우점종으로 확인되었다(Figs. 3, 4). 수심 10 m에서는 생물량이 323.02 g이었고 산말(128.02 g, 39.63%)과 팽생이모자반(100.19 g, 32.02%)이 우점종과 준우점종으로 확인되었다. 조하대 수심 15 m에서는 해조류 생물량이 평균 179.11 g이었으며 우점종은 산말(104.27 g, 58.22%)로 10 m와 동일하였으나 준우점종은 홍조류 나도평꼬리(33.91 g, 18.93%)로 나타났다(Fig. 4).

군집지수

해정 해역에서 조사기간 동안 출현한 해조류의 출현종수와 생물량을 바탕으로 군집지수를 산출한 결과는 Table 2와 같다. 출현종수와 관련된 풍도 지수(R)는 1.10-2.49의 범위로 17종의 해조류가 가장 높은 생물량을 보인 2005년 5월에 최대였고, 8종이 출현한 2006년 5월에 최소였다(Table 2). 균등도지수는 0.35-0.77로 2005년 2월과 2006년 8월에 최대였고 2006년 5월에 최소였다. 풍도와 균등도 지수를 근거로 산출된 다양도지수(H')는 0.72-2.02의 범위로 풍도와 마찬가지로 2005년 5월에 최대값 그리고 2006년 5월에 최소값을 보였다(Table 2).

군집지수를 수심별로 구분하여 산출한 결과 전체 생물량에 대한 우점종과 준우점종의 합의 비인 우점도 지수(DI)는 0.65-0.77의 범위로 우점종과 준우점종의 생물량이 77%를 차지한 수심 15 m에서 최대이고 수심이 깊어질수록 우점도지수도 낮아지는 것이 확인되었다. 출현종수와 관련된 풍도 지수(R)는 2.31-3.17로 20종의 해조류가 출현한 수심 5 m가 최대, 13종이 출현한 15 m에서 최소였다(Table 3). 균등도지수(J')는 0.53-0.64로

우점도지수가 가장 낮아 비교적 다양한 해조류 생물량이 분포하는 5 m에서 가장 높은 값을 보였고 수심이 깊어질수록 낮아지는 결과를 보였다. 풍도와 균등도 지수를 근거로 산출된 다양도지수(H')는 수심 5 m에서 1.93으로 가장 높았으며, 수심 15 m에서 1.35로 가장 낮았다(Table 3).

고 찰

해조류의 출현종수와 생물량은 갯녹음 심화해역에서 감소되기 때문에 해조류 서식대가 줄어들어 갯녹음 해역의 전형적인 특징이다(Chung et al., 1998; Terawaki et al., 2001; Kim et al., 2003). 조간대를 포함한 동해안에서 출현한 해조류의 종수는 속초 연안에서 96종(Boo and Lee, 1986), 갈남에서 91종(Chung et al., 1991), 울진에서 87종(Choi et al., 2006), 포항시 영일만에서 144종(Nam et al., 1996)으로 기록되어있다. 동해안 조하대의 해조류 출현종수는 갯녹음이 진행중인 울진 연안 6개 정점의 연구에서 87종(Choi et al., 2006), 대진에서 73종이었다(Kim et al., 2010). 채집 장소가 대진으로 동일하지만, 조간대를 포함한 경우에는 94종이었고(Shin et al., 2008b), 조하대에서는 73종(Kim et al., 2010)으로 기재되어 채집 방법과 시기에 따라 출현종수의 차이가 나타났다. 2000년 이전에 수행된 연구에서는 무절산호조류에 대한 기록이 부재하여 다른 선행 연구와 출현종수를 비교하는 것은 쉽지 않으며 갯녹음 발생해역에서 출현종수의 감소 유무에 대한 자료의 비교는 매우 제한적이다.

포항 인근 해정 연안에서 해조류 생물량(g wet wt/m²)은 수심 5 m에서 397.50 g, 10 m에서 323.02 g, 그리고 15 m에서 179.11 g으로 수심이 깊어질수록 감소하는 경향을 보였다. 울진 해역 조하대의 7계절 연구에서도 수심 3 m에서 4,004.54 g을, 6 m에서 1,146.77 g, 9 m에서 394.67 g, 그리고 12 m에서 368.44 g으로 수심 증가는 생물량 감소를 초래하였다(Choi et al., 2006). 독도의 조하대에서 2003년부터 2006년까지 수행된 수심별(조하대 5, 10, 15 m) 생물량에 대한 연구에서는 2003년에 1,338.00-1,853.60 g, 2004년에 1,940.20-2,136.50 g, 2005년에 1,094.80-1,744.50 g으로 3년 모두 수심 15 m에서 최대였고 수심 5 m에서 최소였다(Choi et al., 2009). 외해에 위치한 독도의 깊은 수심에서 생물량이 증가했는데, 이는 해수의 투명도가 연안에 비해 높고 대형 해조류인 감태, 대항 및 모자반류가 깊은 수심에 번무하기 때문이라고 판단된다(Choi et al., 2009).

동해안 조하대에서 생물량에 따른 해조류의 우점종과 준우점종을 살펴보면, 독도에서는 수심 5 m까지는 미역, 감태, 대황, 부챗말, 팽생이모자반, 작은구슬산호말과 넓은게발이, 그리고 수심 10 m와 15 m에서는 감태, 부챗말, 팽생이모자반, 외톨개모자반 등의 대형갈조류가 번무하는 것으로 확인되었다(Choi et al., 2009). Shin et al. (2008b)은 대진해역에서 우점종과 준우점종은 다시마와 큰잎알송이모자반이었고, 조하대 수심 5-10 m에서는 모자반류가 번무한다고 기록하였다. 동일지역인 대진의 조하대 수심 5 m에서는 큰잎알송이모자반과 미역이, 10 m에서는 다시마와 미역이, 그리고 15 m에서는 참빛풀과 다시마가 각각 우점종과 준우점종으로 나타났다(Kim et al., 2010). 본 연구가 수행된 갯녹음 해역인 하정리 연안의 조하대 수심 5 m에서는 팽생이모자반(130.08 g)이 전체 생물량의 32.73%를 차지하여 우점종이었고 산말이 준우점종이었으며, 수심 10 m에서는 산말과 팽생이모자반이, 그리고 15 m에서는 산말과 나도핑꼬리가 우점종과 준우점종으로 나타났다. 따라서, 동해안 해역일지라도 조하대 생물량을 구성하는 해조류는 지역에 따라 차이가 있으며, 갯녹음 해역인 하정에서 바다숲을 조성하기 위해서는 이곳에 서식하고 있는 산말과 팽생이모자반이 적합한 해조류로 판단된다.

Kim et al. (2007)은 갯녹음 발생과정을 갯녹음 초기, 진행 및 심화의 3단계로 구분하였는데, 이 기준에 의하면 하정 연안은 조하대에서 해조류 피도가 20%미만이고 수심 10-15 m에서는 약 10%로서 무절산호조류가 번무하는 전형적인 갯녹음 심화해역으로 볼 수 있다. 하지만, 갯녹음과 해조류 군집구조의 관계를 구명하기 위해서는 수심별 무절산호조류의 피복율과 해조류 출현종수 및 생물량에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 한편, 본 연구 해역에서 갯녹음 발생원인은 해조류 섭식 초식자인 성게류가 7-20마리/m²정도 분포하기 때문에 갯녹음의 발생 원인 중 초식동물적 요인이 유력한 것으로 판단된다. Kawamata (1998)는 성게 한 마리가 하루에 섭식한 해조류는 약 10-16 g으로 해중립의 형성 및 소멸에 커다란 영향을 준다고 하여 이를 뒷받침하고 있다. 하지만, 갯녹음의 원인은 초식동물을 포함한 다양한 환경요인이 복합적으로 작용하는 것으로 알려져 있기 때문에 하정 연안의 갯녹음 발생원인을 정확하게 밝히기 위해서는 향후 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 어항 특성별 IMTA 기술개발 적용(RP-2011-AQ-095) 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 또한, 본 논문을 심사하고 유익한 조언을 아끼지 않으신 심사위원님들에게 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

Boo SM. 1987. Distribution of marine algae from shore area of Kangwon province. Korean J Phycol 2, 223-235.

Boo SM and Lee IK. 1986. Studies on benthic algal community in the east coast of Korea. I. Floristic composition and periodicity of Sokcho rocky shore. Korean J Phycol 1, 107-116.

Breitburg DL. 1984. Residual effects of grazing: inhibition competitor recruitment by encrusting coralline algae. Ecology 65, 1136-1143.

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.

Choi CG, Lee HW and Hong BK. 2009. Marine algal flora and community structure in Dokdo, east sea, Korea. Kor J Fish Aquat Sci 42, 503-508.

Choi CG, Takeuchi Y, Terawaki T, Serisawa Y, Ohno M and Sohn CH. 2002. Ecology of seaweed beds on two types of artificial reef. J Appl Phycol 14, 343-349.

Chunhan VD. 1987. Seaweed biomass as a source of energy. Energy 12, 375-378.

Chung H, Cho KW, Chung KH, Kim JH, Shin J, Seo Y, Kang JS and Lee IK. 1998. Ecological characteristics of algal whitening in coastal zone of Seogwip area, Cheju Island. Algae 13, 361-374.

Chung H, Lee HJ and Lee IK. 1991. Vertical distribution of marine algae on a Gallam rocky shore of the mid-east coast of Korea. Korean J Phycol 6, 55-67.

Clarke KR and Gorley RN. 2006. PRIMER V6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E Ltd, Plymouth, U.K., 1-190.

Figueiredo MA, Kain JM and Norton TA. 1996. Biotic interactions in the colonization of crustose coralline algae by epiphytes. J Exp Mar Biol Ecol 199, 303-318.

Gao K and McKinley K. 1994. Use of macroalgae for marine biomass production and CO₂ remediation: a review. J appl Phycol 6, 45-60.

Horn SJ, Aasen IM and Ostgaard K. 2000. Ethanol production from seaweed extract. J Ind Microbiol Biotechnol 25, 249-254.

Ichiki S, Misuta H, and Yamamoto H. 2000. Effects of irradiance, water temperature and nutrients on the growth of sporelings of the crustose coralline alga *Lithophyllum yessoense* Foslie (Corallinales, Rhodophyceae). Phycol Res 48, 115-120.

Johansen HW. 1981. Coralline Algae, a First Synthesis. CRC Press, Inc., Florida, U.S.A., 135-157.

Johnson CR and Mann KH. 1986. The crustose coralline alga, *Phymatolithon* Foslie, inhibits the overgrowth of seaweeds without relying on herbivores. J Exp Mar Biol Ecol 96, 127-146.

Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. Bull Pusan Fish Coll 7, 1-125.

- Kawamata S. 1998. Effect of wave-induced oscillatory flow on grazing by a subtidal sea urchin *Strongylocentrotus nudus*. *J Exp Mar Biol Ecol* 224, 31-48.
- Kim HG, Jeon BU and Sohn 2003. Cause of phenomena of Getnokgum and the way to control it. MOMAF Report, 1-263.
- Kim YD, Kim SK, Hong JP and Gong YG. 2007. The manual for the construction of seaweed forest on the east coast of Korea. NFRDI, Kangneung, Korea, 1-51.
- Kim YD, Gong YG, Jeon CY, Song HI, Park MS, Lee CS, Yoo HI and Kim YH. 2010. Marine algal flora and community structure in Daejin on the mid-east coast of Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 43, 532-539.
- Lee JW and Lee HB. 1988. A floristic study on marine benthic algae of Yongil Bay and adjacent areas, eastern coast of Korea. *Korean J Phycol* 3, 165-182.
- Lee JW, Lee HB and Lee IK. 1993. A study on the community structure of intertidal marine benthic algae in the east coast of Korea. I. An intertidal marine benthic algal community at Sokcho. *Korean J Phycol* 8, 67-75.
- 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* 32, 113-153.
- Lee IK and Kim YH. 1999. Biodiversity and distribution of marine benthic organisms and uses of algal resources in the coastal zone of Korea and Japan. I. Benthic marine algae in the east coast of Korea. *Algae* 14, 91-110.
- Lee YP and Kang SY. 2002. A Catalogue of the Seaweeds in Korea. Cheju National University Press, Cheju, Korea., 1-662.
- Lindstrom SC. 2009. The biogeography of seaweeds in south-east Alaska. *J Biogeogr* 36, 401-409.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics* 3, 36-71.
- McNaughton SJ. 1967. Structure and function in California grasslands. *Ecology* 49, 962-972.
- Nam KW, Kim YS, Kim YH and Sohn CH. 1996. Benthic marine algae in east coast of Korea: flora distribution and community structure. *J Korean Fish Soc* 29, 727-743.
- NFRDI. 2004. A study on construction of seaweed forest in the East Sea. Final Report on Fisheries Life Sciences and Aquaculture Sciences. Yemoonsa, Busan, Korea, 1-283.
- NFRDI. 2007. A study on construction of seaweed forest in the East Sea. Final Report on Fisheries Life Sciences and Aquaculture Sciences. Yemoonsa, Busan, Korea, 1-542.
- Okamura K. 1892. On the marine algae of Chosen. *Rep Imp Bur Fish Sci* 3, 114-127.
- Paine RT and Vadas RL. 1969. The effects of grazing by sea urchins, *Strongylocentrotus* spp., on benthic algal population. *Oceanography* 14, 710-719.
- Pielou EC. 1969. An Introduction to Mathematical Ecology. Wiley, New York, U.S.A., 1-286.
- Shannon C. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell Syst Tech J* 27, 379-423.
- Shin JD, Ahn JK, Kim YH, Lee SB, Kim JH and Chung IK. 2008a. Community structure of benthic marine algae at Daejin and Jukbyeon on the mid-east coast of Korea. *Algae* 23, 231-240.
- Shin JD, Ahn JK, Kim YH, Lee SB, Kim JH and Chung IK. 2008b. Temporal variations of seaweed biomass in Korean coast: Daejin, Gangwondo. *Algae* 23, 327-334.
- Sohn CH. 1996. Historical review on seaweed cultivation of Korea. *Algae* 11, 357-364.
- Suzuki Y, Takabayashi T, Kawaguchi T and Matsunaga K. 1998. Isolation of an allelopathic substance from the crustose coralline algae, *Lithophyllum* spp., and its effect on the brown alga, *Laminaria religiosa* Miyabe (Phaeophyta). *J Exp Mar Biol Ecol* 225, 69-77.
- Terawaki T, Hasegawa H, Arai S and Ohno M. 2001. Management-free techniques for restoration of *Eisenia* and *Ecklonia* beds along the central Pacific coast of Japan. *J Appl. Phycol* 13, 13-17.
- 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.

2011년 9월 20일 접수
 2011년 11월 1일 수정
 2011년 11월 14일 수리