Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety
Research Paper
Vol. 23, No. 4, pp. 338-346, June 30, 2017, ISSN 1229-3431(Print) / ISSN 2287-3341(Online) https://doi.org/10.7837/kosomes.2017.23.4.338

동해안 천연 해조장의 군집구조와 분포 특성

박규진* · 주현** · 최옥인** · 최창근***†
*, *** 부경대학교 생태공학과, ** 한국수산자원관리공단

Community Structure and Distribution of Natural Seaweed Beds on the Eastern Coast of Korea

Gyu Jin Park* · Hyun Ju** · Ok In Choi** · Chang Geun Choi***†
*, *** Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 48531, Korea
** Korea Fisheries Recources Agency, Busan 46041, Korea

요 약 : 이 연구는 2015년 5월부터 12월까지 우리나라 동해안에 위치한 강릉, 울진, 부산 일대에서 천연 해조장 및 서식환경 특성을 분석하였다. 연구기간 동안 출현한 해조류는 총 96종이었으며, 분류군별로는 녹조류 9종, 갈조류 23종, 홍조류 64종이었다. 강릉의 경우, 미끈뼈대그물말(*D. divaricata*)이 정점별로 173.2 ~ 613.8 g m^{-2}로 가장 높은 생물량을 보였고, 가는보라색우무(S. *linearis*)가 360.8 ~ 520.4 g m^{-2}, 미역(*U. pinnatifida*)이 25.9 ~ 470.8 g m^{-2}로 생물량이 높았다. 울진에서는 참곱슬이(*P. telfairiae*)가 5.5 ~ 256.2 g m^{-2}, 구멍쇠미역(*A. clathratum*)이 46.8 ~ 241.5 g m^{-2}로 생물량이 높았다. 부산에서 높은 생물량을 보인 해조류는 큰잎모자반(*S. coreanum*)으로 388.1 ~ 6,972.4 g m^{-2}였고, 감태(*E. cava*)도 194.9 ~ 958.5 g m^{-2}로 다른 해조류에 비해 상대적으로 높은 생물량을 나타냈다. 생체량 비율의 경우, 강릉에서 0.0 ~ 55.5 %로 평균 19.2 %를 나타내 울진과 부산에 비해 상대적으로 가장 낮았다. 울진에서는 36.8 ~ 73.3 %으로 평균 63.8 %를 보였으며, 부산은 평균 48.5 %였다. 갯녹음 비율은 강릉에서 평균 46.7 %의 비율을 나타냈고, 울진에서는 평균 91.1 %의 높은 비율을 나타냈으며 이번 연구에서 다른 지역에 비해 가장 높은 비율을 보였다. 조식성 동물의 밀도는 강릉에서 평균 6.0 개체/m^2로 분석되었고, 울진에서는 7.0 개체/m^2를 나타냈으며 부산에서 2.0 개체/m^2로 전체 지역 중에서 가장 낮은 조식성 동물 밀도를 보였다. 결론적으로 이전 연구결과와 비교하여 종조성, 출현비율, 밀도는 유사하게 나타났다. 하지만 지구 온난화, 기후변화, 해안개발 등에 의한 물리적, 화학적 오염과 관련하여 지속적인 모니터링 연구가 필요하다고 판단된다.

핵심용어 : 갯녹음, 생물량, 서식지 환경, 천연 해조장, 성게

Abstract : *Natural seaweed beds and habitat environments were investigated using quantitative and qualitative methods from May to December 2015 at 3 sites in Gangneung, Uljin, and Busan along the eastern coast of Korea. In total, 9 green, 23 brown, and 64 red algal taxa were identified. The biomass of the seaweed at Gangneung was 173.2 to 613.8 wet wt. g/m^2 of Dictyota divaricata, 360.8 to 520.4 wet wt. g/m^2 of Symphyocladia linearis, and 25.9 to 470.8 wet wt. g/m^2 of Undaria pinnatifida. At Uljin, these numbers were 5.5 to 256.2 wet wt. g/m^2 of Plocamium telfarirae and 46.8 to 241.5 wet wt. g/m^2 of Agarum clathratum. The biomass of Sargassum coreanum and Ecklonia cava were 388.1 to 6,972.4 wet wt. g/m^2 and 194.9 to 958.5 wet wt. g/m^2, respectively, at Busan. S. coreanum and E. cava showed higher biomass compared to other seaweed at Busan. The biomass rate represented an average of 19.2 percent of the total population, ranging from 0.0 to 55.5 percent in Gangneung. In Uljin, the average was calculated as 63.8 percent, and this figure was 48.5 percent in Busan. The percentage of barren ground averaged 46.7 percent in Gangneung and 91.1 percent in Uljin. Uljin showed the highest percentage of barren ground compared to other regions. Sea urchin density appeared to be 6.0 ind./m^2 in Gangneung, 7.0 ind./m^2 in Uljin, and 2.0 ind./m^2 in Busan, with the lowest sea urchin density being that of Busan. In conclusion, the composition of species, appearance ratio, and abundance of vegetation found were similar to previous studies, but it is thought that continuous monitoring is needed due to concerns about physical and chemical pollution caused by global warming, climate change, and coastal development.*

Key Words : *Barren ground, Biomass, Habitat environment, Natural seaweed bed, Sea urchin*

* First Author : fucc11@nate.com, 051-629-6546
† Corresponding Author : cgchoi@pknu.ac.kr, 051-629-6546

1. 서 론

해조장은 대형 갈조류를 비롯한 다양한 해조류로 구성된 해조군락을 말하며 흔히 바다숲, 해조숲, 해중림 등의 용어를 혼용하여 사용하고 있지만 모두 동일한 의미로 통용된다(Choi et al., 2003; Connell et al., 2008). 해조류는 연안 생태계에서 중요한 일차 생산자로서 물질순환의 중심적인 역할을 할 뿐만 아니라, 어류, 무척추동물을 포함한 다양한 수산 생물의 산란장, 은둔처 등 서식공간으로서 해양생물 군집의 이차생산력을 높여주어 자원을 조성하는 역할도 담당한다(Bates and DeWreede, 2007). 이 외에도 공업용, 사료용, 의약용 등 고부가가치 산업 소재로 이용되고 있으며(Choi et al., 2008; Dawes, 1998), 오염 해역의 용존 무기영양염 흡수를 통한 연안 환경개선과 해조장 조성을 통한 해양생물 서식지 복원 등 해양 생태계에서의 다양한 기능으로 해조류의 중요성이 조명 받고 있다(Terawaki et al., 1995).

최근 우리나라 연안 특히 제주 연안은 해중림이 파괴되고 갯녹음의 확대로 다양한 생물이 서식장과 산란장 등을 잃게 되어 해양생태계의 균형이 유지되기 힘들게 되었다(Kim, 2006). 동해 연안에서는 엽상 해조군락이 감소하고 각상의 무절산호조류가 증가하는 갯녹음 현상이 심화되고 있으며 대마난류의 영향이 강한 해역에서 이런 경향은 더욱 뚜렷한 것으로 알려져 있다(Choi et al., 2006). 또한 조식성 동물인 성게류의 증가는 해조군락의 빠른 감소를 유발하여 해조장 및 해조군락의 재생과 패치 형성에 부정적인 영향을 미친다(Korpinen and Jormalainen, 2008; Norderhaug and Christie, 2009). 또한 Korpinen and Jormalainen(2008)은 조식성 동물에 의한 섭이가 해조류 종조성 및 군집구조에 영향을 미쳐 해조류 군집 형성은 계절적인 포자 방출과 조식동물 개체군의 규모에 좌우된다고 보고하여, 조식동물의 밀도와 해조 군집간의 관계를 해석하였다.

서식지에 서식하는 생물군 또는 서식지 형태에 따라 해조군집 구조는 영향을 받으며 변화할 수 있는 가능성이 많은데, 최근 다양한 서식지에서 이전에 경험하지 못했던 변화와 스트레스를 받는 실정이다(Thompson et al., 1996; Bates and BeWreede, 2007). 예를 들어 지구 온난화에 따른 해양 산성화, 환경 변화와 더불어 영양염류의 증가, 해양 오염, 해양개발 등 자연 환경 변화와 인위적 개변은 서식지 및 생물 군집의 변화를 유발하며 지역적 특성과 함께 광범위한 연안에서 해양생태학적 변화를 가속화 시키는 것으로 그 위험성은 증가하는 추세이다(Russell et al., 2009). 이러한 변화는 대형 갈조류와 다양한 소형 해조류 군락으로 구성된 해조장이 환경 변화와 인위적 개변에 의하여 점차 떼조류(turf algae) 형태로 바뀌고 있음을 알 수 있다(Eriksson et al., 2002; Connell et al., 2008). 따라서 천연 해조장, 해조군락, 해양생태계 및 서식지 환경 등의 지속적인 모니터링 연구는 해당 지역의 관련된 정보와 생태학적 자료 축적에 필수적이고 중요한 과정이라고 판단된다(Choi et al., 2010).

이 연구는 우리나라 동해안 천연 해조장의 해조상과 군집구조를 분석하고 군집의 분포 특성 및 시공간적 변화 양상을 명확하게 파악하기 위하여 연구 해역의 해조군집 및 서식 환경과의 상관관계를 알아보고자 연구하였다. 추후 이와 관련한 연구에 연속성을 부여하고 천연 해조장의 유지 및 관리를 위한 프로그램을 개발하여 지속적이고 체계적인 방법으로 보다 많은 해역의 천연 해조장을 모니터링하고, 해양생태계 1차 생산자로서의 역할뿐만 아니라 해양생태계 내에서의 역할을 원활하게 수행할 수 있도록 체계적으로 유지 관리하기 위한 목적으로 연구를 수행하였다.

2. 재료 및 방법

이 연구는 우리나라 동해안에 위치한 강원도 강릉시 사근진, 경상북도 울진군 거일리, 부산시 기장군 문동리 일대에서 천연 해조장 및 서식환경 특성을 분석하였다. 조하대 연구지역의 해조류 식생을 대표 할 수 있는 곳을 중심으로 천연 해조장 주변의 군집구조와 서식 특성을 정성, 정량적으로 파악하기 위하여 2015년 5월부터 12월까지 인근 해역 10 ~ 15 m 수심 내에서 4 ha의 연구 정점을 설정하고 수중잠수조사(SCUBA diving)를 실시하여 각 정점별(정정별 5군데)로 조하대 시료를 채집한 다음 이를 분석 연구하여 수행하였다(Fig. 1, Table 1). 해조류 샘플링은 모든 연구지역에서 6월부터 8월까지 동일한 계절에 수행되었으며, 이 후 실험실에서 시료를 분석하였다. 각 정점은 표 1에 제시된 GPS 좌표값에서 한군데씩 선정하였으며, 좌표값의 정 중앙에서 한군데를 선정하여 총 5군데를 대상으로 수행하였다.

해조상과 해조군락의 분석을 위한 정량연구는 25개의 소방형구로 구획된 0.5 m × 0.5 m 크기의 방형구를 사용하였고, 조사 정정별로 각 방형구 내에 출현한 모든 해조류를 끌칼 등으로 전량 채집한 후 10 % 포르말린-해수 용액으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 4 ha 내의 해조류를 대상으로 정성연구를 실시하기 위하여 방형구내에서 채집된 해조류 외에 서식 해조류를 채집하였고, 수중 스쿠터와 고프로 카메라(HERO4 SILVER)를 이용하여 영상으로 기록하여 출현 해조류를 종 목록에 기록하였다. 현존량은 정량 채집한 해조류를 실험실에서 담수로 충분히 씻어 불순물을 제거한 뒤 페이퍼 타올 등으로 습기를 제거한 뒤 습중량을 측정하여 단위면적(m^2)당 생물량으로 환산하였다(Kim and Ahn, 2006; Kang et al., 2008).

Fig. 1. Location of study area on the East coast of Korea.

Table 1. GPS coordinate of study area on the East coast of Korea

Study area	GPS coordinate
Gangneung	N 37°51′222″, E 128°52′405″
	N 37°51′313″, E 128°52′568″
	N 37°51′142″, E 128°52′711″
	N 37°51′054″, E 128°52′550″
Uljin	N 36°42′191″, E 129°28′741″
	N 36°42′195″, E 129°28′933″
	N 36°42′004″, E 129°28′984″
	N 36°42′006″, E 129°28′788″
Busan	N 35°18′725″, E 129°15′812″
	N 35°18′672″, E 129°15′961″
	N 35°18′453″, E 129°15′867″
	N 35°18′508″, E 129°15′722″

서식지 환경은 천연 해조장 실태, 해조장 주요 구성종 및 우점종 조성, 전체 연구 면적인 4 ha에 분포하는 갯녹음 비율, 조식동물의 밀도 등으로 분석하였다. 자연 암반에서 진행된 갯녹음의 피도와 조식동물인 성게의 밀도 분석을 위해서 0.5 m × 0.5 m 크기의 방형구를 사용하여 사진촬영을 하였으며, 해조류 및 갯녹음 피도와 조식동물 밀도 관련한 정량화는 정점별로 10개 이상의 방형구 사진을 촬영하여 연구실 내에서 정량 데이터화 하였다. 생체량 비율은 각 조사 정점에서 과학 잠수기법을 도입한 다이빙 조사로 정량채집을 실시하여 방형구 내에 출현하는 해조류를 전량 채집하였다. 이후 실험실에서 모든 해조류의 생체량을 측정한 후, 이 중에서 해중림을 구성하는 주요 우점종인 대형 갈조류의 생체량을 전체 생체량으로 나누어 생체량 비율을 산출하였다.

해조류 종 동정은 광학현미경 및 해부현미경을 이용하였고, 동정된 해조류의 학명과 목록 정리는 한국 해조목록의 분류체계(Kang, 1968; Lee and Kang, 1986; 2001) 및 국내외 형태연구 논문을 참고하였다. 명명 규약상 이미 변경된 학명은 Algaebase(http://www.algaebase.org, Guiry and Guiry, 2012)를 이용하거나 최근 논문을 참고하여 작성하였다.

3. 결 과

3.1 분포 특성

연구기간 동안 출현한 해조류는 총 96종이었으며, 분류군별로는 녹조류 9종(9.4 %), 갈조류 23종(24.0 %), 홍조류 64종으로 홍조류의 출현 비율이 66.7 %로 가장 높았다(Table 2). 각 조사 지역별 출현 종 수는 강릉에서 녹조류 5종, 갈조류 20종, 홍조류 50종으로 총 75종이 출현하여 다른 지역에 비해 상대적으로 가장 많은 출현 종 수를 나타냈고, 울진이 총 45종(녹조류 4종, 갈조류 8종, 홍조류 33종)으로 가장 적게 출현하였다. 부산은 녹조류 4종, 갈조류 6종, 홍조류 41종으로 총 51종이 출현하여 중간 정도의 해조류 서식이 확인되었다.

Table 2. Number of marine algal species investigated at study sites

Division	Gangneung	Uljin	Busan	Total
Chlorophyta	5	4	4	9
Phaeophyta	20	8	6	23
Rhodophyta	50	33	41	64
Total	75	45	51	96

강릉의 조하대는 암반이 잘 발달되었고, 대형 및 소형 갈조류 군락이 우점하며 해조류 식생이 비교적 풍부하였다. 출현종 중에서 갈조류인 쇠꼬리산말(*Desmarestia viridis*), 미끈뼈대그물말(*Dictyopteris divaricata*), 그물바탕말(*Dictyota dichotoma*), 홍조류인 진두발(*Chondrus ocellatus*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 붉은까막살(*Grateloupia cornea*), 각시잇바디가지(*Herpochondria elegans*), 털엇가지풀(*Heterosiphonia pulchra*), 마디잘록이(*Lomentaria catenata*), 참곱슬이(*Plocamium telfairiae*), 개우무(*Pterocladiella capillacea*), 참보라색우무(*Symphyocladia latiuscula*) 등의 출현이 가장 많았다.

울진의 경우, 총 4 ha의 면적 조사시 암반 2.2 ha와 사질인 모래가 1.8 ha로 혼합 기질 특성을 보였으며 암반에는 무절

산호조류의 피복이 매우 높게 진행되었고, 갯녹음도 매우 심화되어 해조류 서식 환경이 좋지 않았다. 출현 해조류는 대형 해조류와 소형 홍조류들이 혼재하였는데, 갈조류인 구멍쇠미역(*Agarum clathratum*) 외에도 그물바탕말(*Dictyota dichotoma*), 홍조류인 쌍발이서실(*Laurencia okamurae*), 굵은마디말(*Pachyarthron cretaceum*), 참곱슬이(*P. telfairiae*), 두갈래분홍치(*Rhodymenia intricata*) 등이 빈번하게 출현하였다.

부산은 기질이 암반, 자갈, 펄 등으로 구성되어 다른 지역과 상이한 특징을 나타냈으며 펄의 영향으로 부유물질과 탁도가 해조류의 서식에 영향을 주는 것으로 판단되었다. 조하대에서 빈번하게 출현한 해조류로는 갈조류인 큰잎모자반(*Sargassum coreanum*), 톱니모자반(*S. serratifolium*), 홍조류인 잔금분홍잎(*Acrosorium polyneurum*), 갈고리분홍잎(*A. uncinatum*), 볏붉은잎(*Callophyllis japonica*), 진두발(*C. ocellatus*), 돌가사리(*Chondracanthus tenellus*), 쌍발이서실(*L. okamurae*), 우뭇가사리(*Gelidium amansii*), 둘레혹산호말(*Marginisporum crassissimum*), 참곱슬이(*P. telfairiae*), 두갈래분홍치(*R. intricata*), 참보라색우무(*S. latiuscula*) 등으로 나타났다.

3.2 생물량

이번 연구를 통하여 각 지역별 평균 생물량으로 분석된 우점종은 표 3~5 및 그림 2와 같다. 강릉의 경우, 갈조류인 미끈뼈대그물말(*D. divaricata*)이 정점별로 173.2 ~ 613.8 g m^{-2}로 가장 높은 생물량을 보였고, 홍조류인 가는보라색우무(*S. linearis*)가 360.8 ~ 520.4 g m^{-2}, 갈조류인 미역(*U. pinnatifida*)이 25.9 ~ 470.8 g m^{-2}로 생물량이 높았다. 이 외에 강릉 연안에서 5군데 정점의 분석 결과, 모든 정점에서 평균적으로 높은 생물량을 나타낸 우점종은 참곱슬이(*P. telfairiae*), 쇠꼬리산말(*D. viridis*), 괭생이모자반(*S. horneri*), 꼬마모자반(*S. nipponicum*), 마디잘록이(*L. catenata*), 방석청각(*Codium hubbsii*), 우뭇가사리(*G. amansii*) 등으로 나타났다(Table 3).

울진에서는 각 정점에서 홍조류인 참곱슬이(*P. telfairiae*)가 5.5 ~ 256.2 g m^{-2}, 갈조류인 구멍쇠미역(*A. clathratum*)이 46.8 ~ 241.5 g m^{-2}로 생물량이 다른 해조류에 비해 상대적으로 높았다. 이 외에도 홍조류인 잎꼬시래기(99.4 g m^{-2}), 잔금분홍잎(0.3 ~ 41.5 g m^{-2}), 굵은마디말(*P. cretaceum*), 두갈래분홍치(*R. intricata*), 주름볏붉은잎(*Callophyllis crispata*), 넓은볏붉은잎(*Callophyllis adnata*), 그물바탕말(*D. dichotoma*), 참화살깃산호말(*Alatocladia modesta*) 등의 해조류 생물량이 높은 우점종으로 분석되었다(Table 4).

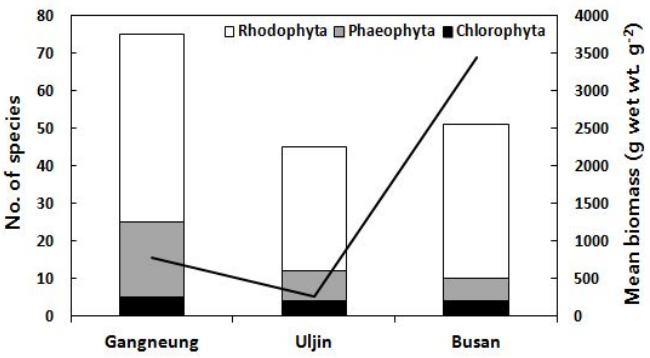

Fig. 2. Variations in species number and total macroalgal mean biomass (g wet wt. m^{-2}) at study areas.

부산에서 가장 높은 생물량을 보인 해조류는 갈조류인 큰잎모자반(*S. coreanum*)으로 388.1 ~ 6,972.4 g m^{-2}였고, 감태(*E. cava*)도 194.9 ~ 958.5 g m^{-2}로 다른 해조류에 비해 상대적으로 높은 생물량을 나타냈다. 톱니모자반(*S. serratifolium*)도 470.0 ~ 831.8 g m^{-2}로 높은 생물량을 보여서 갈조류가 매우 높은 생물량을 나타내는 것으로 분석되었다. 이 외에도 홍조류인 돌가사리(*C. tenellus*, 10.6 ~ 580.8 g m^{-2}), 왜다맥잎사촌(*Pseudopolyneura japonica*, 17.4 ~ 330.8 g m^{-2}), 볏붉은잎(*C. japonica*, 15.7 ~ 299.9 g m^{-2}) 등의 해조류도 생물량이 높은 우점종들로 나타났다. 또한 참곱슬이(*P. telfairiae*), 우뭇가사리(*G. amansii*), 둘레혹산호말(*M. crassissimum*), 명주지누아리(*G. sparsa*) 등의 해조류도 상대적으로 높은 생물량을 나타냈다(Table 5).

3.3 서식지 환경

생체량 비율의 경우, 강릉에서 0.0 ~ 55.5 %로 평균 19.2 %를 나타내 울진과 부산에 비해 상대적으로 가장 낮았다. 울진에서는 36.8 ~ 73.3 %으로 평균 63.8 %를 보였으며, 부산은 평균 48.5 %(14.1 ~ 92.9 %)로 나타났다(Table 6).

갯녹음 비율은 강릉에서 31.7 ~ 64.8 %로 평균 46.7 %의 비율을 나타냈고, 울진에서는 87.4 ~ 94.7 %로 평균 91.1 %의 높은 비율을 나타냈으며 이번 연구에서 다른 지역에 비해 가장 높은 비율을 보였다. 이 비율은 전 정점에서 유사하게 매우 높은 갯녹음 비율을 나타냈으며, 부산에서는 평균 23.2 % (17.4 ~ 31.3 %)로 가장 낮은 비율을 보였다(Table 7).

Table 3. Dominant marine algal species according to biomass at Gangneung

No.	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
1	*Dictyopteris divaricata*	*Symphyocladia linearis*	*Dictyopteris divaricata*	*Undaria pinnatifida*	*Dictyopteris divaricata*
2	*Symphyocladia linearis*	*Plocamium telfairiae*	*Symphyocladia linearis*	*Sargassum horneri*	*Undaria pinnatifida*
3	*Plocamium telfairiae*	*Dictyopteris divaricata*	*Plocamium telfairiae*	*Symphyocladia linearis*	*Symphyocladia linearis*
4	*Codium hubbsii*	*Desmarestia viridis*	*Sargassum nipponicum*	*Dictyopteris divaricata*	*Desmarestia viridis*
5	*Pachyarthron cretaceum*	*Lometaria catenata*	*Heterosiphonia japonica*	*Sargassum nipponicum*	*Plocamium telfairiae*
6	*Desmarestia viridis*	*Gelidium amansii*	*Sargassum coreanum*	*Desmarestia viridis*	*Acrosorium uncinatum*
7	*Grateloupia sparsa*	*Undaria pinnatifida*	*Chondria crassicaulis*	*Dictyota dichotoma*	*Dictyota dichotoma*
8	*Lometaria catenata*	*Acrosorium uncinatum*	*Chrysymenia wrightii*	*Plocamium telfairiae*	*Lometaria catenata*
9	*Carpomitra costata*	*Codium hubbsii*	*Undaria pinnatifida*	*Dictyopteris prolifera*	*Heterosiphonia pulchra*
10	*Acrosorium uncinatum*	*Rhodymenia intricata*		*Lometaria catenata*	*Herpochondria elegans*

Table 4. Dominant marine algal species according to biomass at Uljin

No.	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
1	*Plocamium telfairiae*	*Agarum clathratum*	*Agarum clathratum*	*Agarum clathratum*	*Agarum clathratum*
2	*Agarum clathratum*	*Pachyathron cretaceum*	*Plocamium telfairiae*	*Plocamium telfairiae*	*Plocamium telfairiae*
3	*Gracilaria textorii*	*Plocamium telfairiae*	*Callophyllis adnata*	*Rhodymenia intricata*	*Rhodymenia intricata*
4	*Acrosorium polyneurum*	*Peyssonnelia caulifera*	*Rhodymenia intricata*	*Callophyllis adnata*	*Pachyathron cretaceum*
5	*Callophyllis crispata*	*Lomentaria catenata*	*Carpomitra costata*	*Lomentaria catenata*	*Acrosorium uncinatum*
6	*Dictyota dichotoma*		*Pachyathron cretaceum*	*Acrosorium polyneurum*	*Carpomitra costata*
7	*Alatocladia modesta*		*Acrosorium polyneurum*	*Corallina pilulifera*	*Dictyota dichotoma*
8	*Chondrus ocellatus*		*Peyssonnelia caulifera*	*Grateloupia* spp.	*Acrosorium polyneurum*
9	*Sargassum* spp.		*Phycodrys australasica*	*Herpochondria elegans*	
10	*Lomentaria hakodatensis*		*Symphyocladia marchantioides*		

Table 5. Dominant marine algal species according to biomass at Busan

No.	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
1	*Sargassum coreanum*	*Sargassum coreanum*	*Sargassum serratifolium*	*Callophyllis adnata*	*Sargassum coreanum*
2	*Ecklonia cava*	*Chondracanthus tenellus*	*Ecklonia cava*	*Grateloupia sparsa*	*Callophyllis japonica*
3	*Sargassum serratifolium*	*Gelidium amansii*	*Pseudopolyneura japonica*	*Ecklonia cava*	*Plocamium telfairiae*
4	*Callophyllis adnata*	*Grateloupia cornea*	*Plocamium telfairiae*	*Pseudopolyneura japonica*	*Pseudopolyneura japonica*
5	*Marginisporum crassissimum*	*Laurencia okamurae*	*Callophyllis adnata*	*Phacelocarpus japonicus*	*Gelidium amansii*
6	*Plocamium telfairiae*	*Rhodymenia intricata*	*Gelidium amansii*	*Plocamium telfairiae*	*Callophyllis crispata*
7	*Grateloupia cornea*	*Marginisporum crassissimum*	*Marginisporum crassissimum*	*Rhodymenia intricata*	*Chondracanthus tenellus*
8	*Chondrus ocellatus*	*Plocamium telfairiae*	*Dichotomaria falcata*	*Grateloupia elliptica*	*Gelidium* spp.
9	*Peyssonnelia caulifera*	*Grateloupia elliptica*	*Chondracanthus tenellus*	*Marginisporum crassissimum*	*Gracilaria textorii*
10	*Gelidium amansii*	*Umbraulva japonica*	*Chondrus ocellatus*	*Gelidium amansii*	*Marginisporum crassissimum*

Table 6. Biomass ratio of marine algal species constituting the seaweed beds (Unit: %)

Study site	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
Gangneung	0.0	6.0	8.7	55.5	25.5	19.2
Uljin	36.8	69.9	70.1	68.9	73.3	63.8
Busan	92.9	45.7	62.9	14.1	27.2	48.5

Table 7. Percentage of barren ground on total survey area at study sites (Unit: %)

Study site	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
Gangneung	41.8	31.7	37.7	57.6	64.8	46.7
Uljin	90.0	92.5	87.4	90.8	94.7	91.1
Busan	17.8	20.6	17.4	28.8	31.3	23.2

조식동물의 밀도는 강릉에서 5.0 ~ 7.0 개체/m^2로 평균 6.0 개체/m^2로 분석되었고, 울진에서는 5.0 ~ 9.8 개체/m^2로 평균 7.0 개체/m^2를 나타냈으며 두 지역에서 유사한 밀도를 나타냈다. 부산의 경우 0.0 ~ 4.8 개체/m^2로 평균 2.0 개체/m^2로 전체 지역 중에서 가장 낮은 조식동물 밀도를 나타냈다(Table 8, Fig. 3).

Table 8. Density of sea urchin populations at study sites

(Unit: inds./m^2)

Study site	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
Gangneung	5.5	6.5	7.0	5.8	5.0	6.0
Uljin	6.7	9.8	5.5	5.0	8.0	7.0
Busan	0.0	2.0	3.2	0.0	4.8	2.0

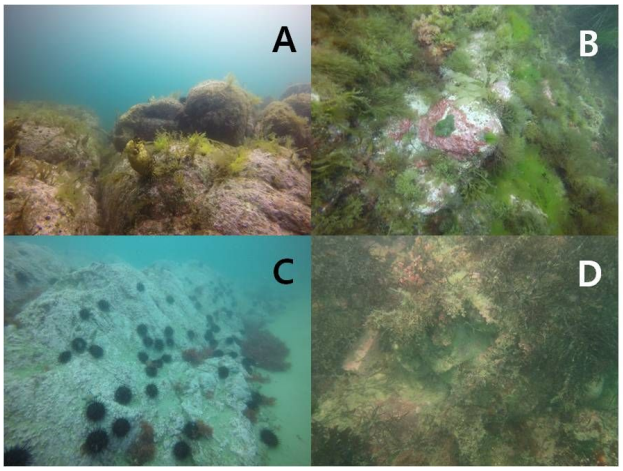

Fig. 3. Natural condition and habitat characteristics in subtidal zone. A, B: Gangneung, C: Uljin, D: Busan.

4. 고 찰

강릉 인근 삼척시 비화의 조하대 연구(Kim et al., 2012) 결과, 총 출현 종 수는 57종으로 녹조류 7종(12.3 %), 갈조류 15종(26.3 %), 홍조류 35종(61.4 %)이 출현하여 강릉 주변에서 출현한 해조류 출현 종수보다는 적었지만 출현종은 유사하였다. 분류군별 출현 비율도 녹조류 비율이 강릉 지역에서 조금 낮았지만 큰 차이를 보이지 않았다. 출현 해조류의 월별 조사 결과 갈조류 구멍쇠미역, 미역, 홍조류인 잔금분홍잎, 누은분홍잎, 우뭇가사리, 모로우붉은실의 출현율이 높았다고 하였는데, 이 결과는 이번 연구 결과와 매우 유사하였다. 울진 지역 조하대 해조류 출현 종 수는 Kim and Ahn(2006)이 보고한 26종(녹조류 5종, 갈조류 7종, 홍조류 14종)보다는 높았지만, Choi et al.(2006)의 87종(녹조류 11종, 갈조류 29종, 홍조류 47종)보다는 낮았다. 이와 같은 출현 종 수의 차이는 채집의 계절적인 차이와 채집 횟수 등에 따른 것으로 판단된다. Choi et al.(2006)은 울진에서 연중 서식하는 해조류로 구멍갈파래, 떡청각, 청각, 애기다시마, 우뭇가사리, 진분홍딱지, 혹돌잎, 작은구슬산호말, 참도박 등을 보고하였는데, 이번 연구에서 분석된 결과와 분포 특성이 유사하여 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 이번 연구 결과 부산시 기장 주변 해역 해조류의 분류군별 출현 종 수는 과거 인근에서 조사된 용호동(Nam and Kim, 1999)에서 출현한 96종(녹조류 13종, 갈조류 26종, 홍조류 57종), 동백섬(Yoo, 2003a)에서 보고된 78종(녹조류 11종, 갈조류 20종, 홍조류 47종), 서암(Yoo, 2003b)의 70종(녹조류 6종, 갈조류 17종, 홍조류 47종), 영도(Choi, 2007)에서 출현한 69종(녹조류 10종, 갈조류 17종, 홍조류 42종), 일광만(Kang et al., 2008)의 결과인 103종(녹조류 10종, 갈조류 17종, 홍조류 76종) 등과 비교시 유사하거나 다소 감소하였다. 하지만 이들 결과는 다른 지역과 유사하게 채집시의 계절적 불일치, 조사 정점, 채집 횟수 등의 차이 때문으로 판단되며, 분류군별 출현비율은 유사하게 나타났다.

생물량 자료는 군집 특성 이해에 중요한 척도로 판단되기 때문에, 해조군집 특성을 정량적으로 파악하고 비교 분석하기 위해서는 생물량 자료를 확보하는 것이 필요하다(Choi et al., 2006). 이번 연구 결과를 보면 출현 종 수와 생물량에 특이한 점을 확인할 수 있었다(Fig. 2). 부산의 경우, 출현 종 수는 51종으로 강릉의 75종 보다는 낮았지만, 생물량은 3,443.1 g m^{-2}으로 강릉의 776.6 g m^{-2}에 비해 약 4.4배 정도의 높은 값을 나타냈다. 또한 울진의 출현 종 수인 45종과 평균 생물량인 260.5 g m^{-2}의 비교시에도 종 수는 큰 차이가 없지만 생물량은 약 13배 이상이 높아 출현 해조류에 따라 생물량에는 큰 차이가 생길 수 있음을 나타냈다. Kim et al.(2012)은 비화해역의 해조류 생물량은 계절별 차이가 있지만, 갈조류가 가장 높은 비율을 차지하며 우점 분류군이라 보고하였다. 생물량을 토대로 한 우점종은 미역, 괭생이모자반, 보라잎, 청각, 야키시리구멍쇠미역, 참산말, 알쏭이모자반, 참곱슬이 등이라고 하였다. 이번 강릉지역의 우점종도 미끈뼈대그물말, 미역, 참곱슬이, 쇠꼬리산말, 괭생이모자반 등으로 분석되어 유사한 결과를 나타냈다. 울진 조하대의 해조류 생물량을 연중 대표하는 해조류는(Choi et al., 2006) 수심에 따라 차이는 있지만, 미역(16.7 ~ 1,555.6 g m^{-2}), 애기다시마(30.7 ~ 12,762.4 g m^{-2}), 모자반류(25.8 ~ 1,265.5 g m^{-2}), 우뭇가사리, 돌가사리, 미끈뼈대그물말, 참곱슬이 등이라고 하였다. 이번 연구에서도 참곱슬이, 구멍쇠미역, 그물바탕말 등 갈조류에 속하는 해조류 생물량이 다른 해조류에 비해 높아서 우점종으로 분석되었다. 동해안 연안의 해조류 생물량에 관한 이전 연구들(Nam, 1986; Boo, 1987)에서는 수심별 현존량이 낮

은 수심에서 높은 값을 보이는 경우가 많지만 모든 수심에서 모자반류, 미역 등을 포함한 대형 갈조류에 의해 현존량이 지배된다고 하여 이번 결과를 뒷받침하는 것으로 나타났다. Kang et al.(2008)은 일광만 저서 해조류 생물량이 가을에 팽생이모자반, 외톨개모자반, 개도박, 감태 등이 다량 분포하여 높은 생물량으로 출현하였고, 겨울에도 높은 생물량을 보이는 해조류는 유사하였다고 하였다. 이는 이번 결과의 우점 해조류인 큰잎모자반, 감태, 톱니모자반, 돌가사리 등이 높은 생물량을 보였던 것과 동일한 경향을 나타냈다. Yoo(2003b)는 서암 지역 해조류의 중요도 분석 결과, 지충이, 돌가사리, 유절산호말류 등이 높다고 보고하였는데 이들 해조류는 강릉이나 울진 지역에서 우점하는 해조류와 다른 양상을 보였다. 부산시 기장 일대 해역은 지역 특성상 암반과 뻘 등으로 구성된 기질 특성을 갖기 때문에 이러한 환경에 서식하는 해조류의 중요도가 높았던 것으로 판단된다.

생체량 비율을 보면, 울진이 63.8 %로 상대적으로 가장 높은 비율을 나타내며 강릉이 19.2 %로 가장 낮은 비율을 보였다. 이 결과는 울진의 해조류 생물량이 일부 해조류에 의해 우점하는 특징을 보이며 종 다양성이 낮은 것으로 판단된다. Choi et al.(2006)은 울진 지역 조하대의 해조류 종조성은 몇몇 우점하는 대형 갈조류에 의해서 현존량이 높게 분포하며 종 다양성이 높지 않다고 보고하여 이번 결과와 유사한 경향이 지속되는 것으로 판단되었다. 또한 수온 상승, 섭식자에 의한 섭식압 증가, 연안 개발, 갯녹음 현상의 가속화 등은 연안 생태계가 단순화하고 감소하여 해조류 종 조성과 현존량이 감소될 것이라 판단하여 해양 생태계의 심각한 훼손과 생태공학적 관리, 보전의 필요성을 강조하였다.

제주도부터 동, 서, 남해안 전 연안으로 확산되는 갯녹음 현상은 해조상의 변화와 해조류 감소 등의 해양생태계 변화를 유발하고 있다(Choi et al., 2006). 최근에는 동해안 연안을 중심으로 갯녹음 진행이 가속화 되는 것으로 알려지고 있는데, 이번 연구 결과에서도 무절산호조류의 피복과 갯녹음 현상이 뚜렷하게 나타났다(Table 6, Fig. 3C). 그 중 울진에서 갯녹음 비율이 평균 91.1 %로 나타나 상대적으로 매우 높은 비율을 보였다. Kim and Kim(2000)은 울릉도의 여러 해안에서 갯녹음 현상으로 암반과 돌들이 하얗게 변색되었고, 해조류 엽상체의 서식 상태도 불량하다고 하였다. Kim et al.(2004)은 최근 기상이변과 수온상승 등에 의해 동해안의 갯녹음 현상이 울릉도와 독도 조하대까지 확산됨으로 독도 해조류의 종 수가 감소되었고, 앞으로도 심각한 생태계 변화가 예견된다고 하였다. 저서동물 중 갯녹음 해역에 우점하는 섭식자는 성게류와 복족류, 초식성 어류(Foster, 1975; Shinmura, 1983) 등이며, 이 중 성게가 해조류의 가장 활동적인 섭식자로 알려졌다(Ohno et al., 1990; Choi et al., 2003). 이번 연구 결과 울진 지역은 성게의 개체수가 평균 7.0 개체/m^2로 매우 높은 밀도를 나타내 해조류의 가장 큰 섭식자로 평가되었다. Choi et al.(2006)은 울진 조하대 생태계는 울창한 해조 군락이 형성된 지역과 성게 등 해조 섭식자가 많아 갯녹음이 심각하게 진행되어 해조 식생을 전혀 볼 수 없는 지역으로 크게 나뉜다고 하였는데, 이번 연구에서도 이와 유사한 경향을 보였다(Fig. 3의 C). 따라서 울진 지역의 갯녹음 진행도 조식성 동물인 성게의 영향이 가장 큰 것으로 판단된다. 이런 지역은 해조류가 빠르게 감소하고 무절산호조류가 자연 암반을 뒤덮어 갯녹음 현상이 심화될 것으로 판단된다.

지금까지의 연구 결과로 볼 때 연구 대상지인 강릉, 울진, 부산의 해조류 출현종은 약간의 증감은 있었지만 종 조성이나 출현 비율에 큰 변화는 없는 것으로 판단된다. 하지만 최근 지구 온난화, 기상 이변, 해안 개발 등으로 인한 물리, 화학적인 오염원 발생과 변화가 우려되기 때문에 지속적인 모니터링이 필요하다고 판단된다. 따라서 이들 지역의 해조군집을 포함한 해양생태계 및 서식환경의 변화를 방지하기 위해서는 생태적 교란이 발생할 수 있는 활동들(인위적인 활동, 해안 개발, 각종 오염 유발 행위 등)을 최소화 하여야 할 것이며, 조식 동물의 영향, 종 다양성 감소 등이 발생한 지역은 근본적인 해결책의 모색과 생태공학적 기법을 도입한 유지, 보전 관리 해결책이 마련되어 체계적이며 제도적인 방안이 마련되고 제시되어야 할 것이라고 판단된다.

사 사

이 연구는 부경대학교 자율창의학술연구비(2016년)에 의하여 수행되었음.

References

[1] Bates, C. R. and R. E. DeWreede(2007), Do changes in seaweed biodiversity influence associated invertebrate epifauna?, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 344, pp. 206-214.

[2] Boo, S. M.(1987), Distribution of marine algae from shore area of Kangwon Province, The Korean Journal of Phycology, Vol. 2, pp. 223-235.

[3] Choi, C. G.(2007), Algal flora and *Ecklonia stolonifera* Okamura (Laminariaceae) Population of Youngdo in Busan, Korea, Algae, Vol. 22, pp. 313-318.

[4] Choi, C. G., H. G. Kim and C. H. Sohn(2003), Transplantation of young fronds of *Sargassum horneri* for

construction of seaweed beds, Journal of Korean Fisheries Society, Vol. 36, pp. 469-473.

[5] Choi, C. G., J. H. Kim and I. K. Chung(2008), Temporal variation of seaweed biomass in Korean coasts: Yokjido, Gyeongnam Province, Algae, Vol. 23, pp. 311-316.

[6] Choi, C. G., M. T. H. Chowdhury, I. Y. Choi and Y. K. Hong(2010), Marine algal flora and community structure in Kijang on the southern east coast of Korea, The Sea, Vol. 15, pp. 133-139.

[7] Choi, C. G., S. N. Kwak and C. H. Sohn(2006), Community structure of subtidal marine algae at Uljin on the east coast of Korea, Algae, Vol. 21, pp. 463-470.

[8] Connell, S. D., B. D. Russell and D. J. Turner(2008), Recovering a lost baseline: missing kelp forests from a metropolitan coast, Marine Ecology Progress Series, Vol. 360, pp. 63-72.

[9] Dawes, C. J.(1998), Marine botany, John Wiley & Sons, Inc. New York, pp. 628.

[10] Eriksson, B. K., G. Johansson and P. Snoeijs(2002), Long-term changes in the macroalgal vegetation of the inner Gullmar Fjord, Swedish Skagerrak coast, Journal of Phycology, Vol. 38, pp. 284-296.

[11] Foster, M. S.(1975), Regulation of algal community development in a *Macrocystis pyrifera* forest, Marine Biology, Vol. 32, pp. 331-342.

[12] Guiry, M. D. and G. M. Guiry(2012), Algaebase, National University of Ireland, Galway, Available from: http://www.algaebase.org (Accessed May 19, 2014).

[13] Kang, J. W.(1968), Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea. Vol. 8 Marine algae, Samhwa Press, Seoul, Korea, pp. 465.

[14] Kang, P. J., Y. S. Kim and K. W. Nam(2008), Flora and community structure of benthic marine algae in Ilkwang Bay, Korea, Algae, Vol. 23, pp. 317-326.

[15] Kim, D. K.(2006), A study on the restoration of marine forests using artificial reef in the barren grounds along the coast of Jeju, Cheju National University, Cheju, Korea, pp. 115.

[16] Kim, M. K and K. T. Kim(2000), Studies on the seaweeds in the islands of Ullungdo and Dokdo: I. Decrease of algal species compositions and changes of marine algal flora, Algae, Vol. 15, pp. 119-124.

[17] Kim, M. K., J. K. Shin and J. H. Cha(2004), Variation of species composition of benthic algae and whitening in the coast of Dokdo island during summer, Algae, Vol. 19, pp. 69-78.

[18] Kim, Y. D., M. S. Park, H. I. Yoo, B. H. Min and H. J. Jin(2012), Seasonal variations of seaweed community structure at the subtidal zone of Bihwa on the East coast of Korea, Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, Vol, 45, pp. 262-270.

[19] Kim, Y. H. and J. K. Ahn(2006), Effects of heated effluents on the intertidal macroalgal community near Wolseong, the East coast of Korea, Algae, Vol. 21, pp. 453-461.

[20] Korpinen, S. and V. Jormalainen(2008), Grazing effects in macroalgal communities depend on timing of patch colonization, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 360, pp. 39-46.

[21] Lee, I. K. and J. W. Kang(1986), A check list of marine algae in Korea, The Korean Journal of Phycology, Vol. 1, pp. 311-325.

[22] Lee, Y. P. and S. Y. Kang(2001), A catalogue of the seaweeds in Korea, Cheju National University Press, Cheju, Korea, p. 662.

[23] Nam, K. W. and Y. S. Kim(1999), Benthic marine algal flora and community structure of Yongho dong area in Pusan, Korea, Journal of Korean Fisheries Society, Vol. 32, pp. 374-384.

[24] Nam, K. W.(1986), On the marine benthic algal community of Chuckdo in Eastern coast of Korea, The Korean Journal of Phycology, Vol. 1, pp. 185-202.

[25] Norderhaug, K. M. and H. C. Christie(2009), Sea urchin grazing and kelp re-vegetation in the NE Atlantic, Marine Biology Research, Vol. 5, pp. 515-528.

[26] Ohno, M., S. Arai and M. Watanabe(1990), Seaweed succession on artificial reefs on different bottom substrata, Journal of Applied Phycology, Vol. 2, pp. 327-332.

[27] Russell, B. D., J. I. Thompson, L. J. Falkenberg and S. D. Connell(2009), Synergistic effects of climate change and local stressors: CO_2 and nutrient-driven change in subtidal rocky habitats, Global Change Biology, Vol. 15, pp. 2153-2162.

[28] Shinmura, I.(1983), Series for construction of seaweed beds. 5. Technique and problem for construction of seaweed beds in southern coast of Japan, Suisankenkyu, Vol. 2, pp. 67-71.

[29] Terawaki, T., S. Arai and Y. Kawasaki(1995), Methods of submarine forest formation considering local limiting factors of distribution, Fisheries Engineering, Vol. 32, pp. 145-154.

[30] Thompson, R. E., B. J. Wilson, M. L. Tobin, A. S. Hill and

S. J. Hawkins(1996), Biologically generated habitat provision and diversity of rocky shore organisms at a hierarchy of spatial scales, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 202, pp. 73-84.

[31] Yoo, J. S.(2003a), Biodiversity and community structure of marine benthic organisms in the rocky shore of Dongbaekseom, Busan, Algae, Vol. 18, pp. 225-232.

[32] Yoo, J. S.(2003b), Dynamics of marine benthic community in intertidal zone of Seoam, Busan, The Sea, 8, pp. 420-425.

Received : 2017. 03. 14.
Revised : 2017. 04. 17. (1st)
: 2017. 06. 05. (2nd)
Accepted : 2017. 06. 28.