

한국 연안 해조류 생물량의 연간 변동 양상: 강원도 대진지역

신재덕¹ · 안중관¹ · 김영환^{1*} · 이송복² · 김정하³ · 정익교⁴

(¹충북대학교 생물학과, ²강릉대학교 해양생명공학부, ³성균관대학교 생명과학과, ⁴부산대학교 해양과학과)

Temporal Variations of Seaweed Biomass in Korean Coasts: Daejin, Gangwondo

Jae Deok Shin¹, Jung Kwan Ahn¹, Young Hwan Kim^{1*}, Sung Bok Lee²,
Jeong Ha Kim³ and Ik Kyo Chung⁴

¹Department of Biology, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

²Division of Marine Resource Development, Kangnung National University, Gangneung 210-702, Korea

³Department of Biological Science, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

⁴Department of Marine Science, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

Seaweed biomass was estimated using a nondestructive sampling method in the rocky intertidal and subtidal zone in Daejin on the mid-east coast of Korea from August 2006 to April 2008. Seasonal sampling were done at the depth of 0, 1, 5, 10 m using 50 x 50 cm quadrat. A total of 95 species, including 11 chlorophytes, 26 phaeophytes, 57 rhodophytes and one sea grass were identified. Mean biomass was comprised of 1,292 g wet wt m⁻² and the biomass values varied seasonally from 904 g to 1,945 g. Dominant species in biomass were *Sargassum* spp. (*S. horneri*, *S. yezoense*), *Corallina pilulifera*, *Phyllospadix japonica*, *Symphyclocladia latiuscula*, *Hizikia fusiformis*, *Codium arabicum* and *Chondrus ocellatus* at Daejin. The vertical distribution of algae were characterized by *Corallina pilulifera*, *Symphyclocladia latiuscula*, *Sargassum* spp. (*S. confusum*, *S. yezoense*), *Hizikia fusiformis* and *Grateloupia elliptica* at intertidal zone, *Sargassum* spp. (*S. fulvellum*, *S. horneri*, *S. yezoense*), *Phyllospadix japonica*, *Codium arabicum*, *Undaria pinnatifida* and *Corallina pilulifera* at 1 m depth, *Sargassum* spp. (*S. horneri*, *S. micracanthum*, *S. yezoense*), *Phyllospadix japonica*, *Grateloupia elliptica*, *Gelidium amansii* and *Codium arabicum* at 5 m depth and *Phyllospadix japonica*, *Codium arabicum*, *Sargassum* spp. (*S. horneri*, *S. micracanthum*, *S. yezoense*) and *Undaria pinnatifida* at 10 m depth.

Key Words: biomass, Daejin, nondestructive method, seaweed

서 론

해조류는 해양생태계에 있어서 중요한 일차 생산자로서의 역할 뿐만 아니라 연안에 서식하는 다양한 어패류의 산란장, 서식지 및 먹이 제공원으로 크게 기여하고 있으며 (Dring 1992; Graham and Wilcox 2000), 그밖에도 식용, 의약품, 공업용, 사료, 비료 등으로 광범위하게 이용되며 주목받고 있다 (오 등 1990; Dawes 1998; Worm et al. 2000). 따라서 연안생태계에서 고착성 해조류가 차지하는 역할과 중요성을 이해하고 나아가서 지역별 분포 양상과 생산력을 비교 고찰

하기 위해서는 해조류의 생물량과 생물량을 구성하는 주요 종을 이해하는 것이 중요하다고 판단된다.

조간대와 조하대를 막론하고 고착성 해조류의 생물량 또는 현존량을 파악하는 방법은 파괴적 표본추출 (destructive sampling) 또는 수확법 (harvest sampling)을 통한 건조중량 (dry weight)의 측정이 주로 이용되어 왔다 (De Wreede 1985). 특히 해조류와 같이 수분 함량의 변화가 심한 생물집단의 경우에는 습중량 (wet weight)보다 건조중량이 보다 정확한 지표로 간주되고 있으며 (Brower et al. 1997), 실제로 그간 국내에서 수행된 해조군집의 생물량 조사에서도 파괴적 표본추출을 통한 건조중량의 측정이 널리 이용되어 왔다 (이를테면 Yoo and Kim 2003; 김 등 2004, 2007; 김과 안 2005).

*Corresponding author (kimyh@cbnu.ac.kr)

그럼에도 불구하고 일정 면적의 해조류를 제거하는 파괴적 표본추출은 자연 식생을 훼손할 수 있다는 점에서 세심한 주의가 요망되며(De Wreede 1985; 고 등 2008), 해조식생이 풍부하지 않은 지역이나 특히 동일한 지역에서 장기적 모니터링을 실시할 경우 자칫 왜곡된 결과를 얻을 수 있다는 문제점을 안고 있다. 그 대안으로는 원격탐사나 사진 촬영을 통한 간접적인 현존량 측정 등이 제시되고 있으며(De Wreede 1985; Littler and Littler 1985), 이와 같은 비파괴적 표본추출(nondestructive sampling)은 정확성의 논란에도 불구하고 자연 식생을 훼손시키지 않는다는 장점을 지니고 있다.

최근 비파괴적 표본추출을 통한 생물량 추정이 특히 유용해 조류를 대상으로 다양하게 시도되고 있다. 먼저 Robbins와 Boese(2002)는 미국 오리건 주의 하구에서 녹조류 몇 종을 대상으로 현장에서 눈금 실린더와 플런저(plunger)를 이용하여 생물량을 추정하는 부피 측정으로 관습적인 건조중량 측정과의 상관을 분석하였다. 선형회귀분석 결과 이 방법은 생물량을 추정하는 정확한 기법으로 확인되었다. Rollon 등(2003)은 필리핀 동부 해안의 우뭇가사리와 해조(*Gelidiella acerosa*)를 대상으로 피도를 측정한 다음 회귀분석을 통하여 생물량을 추정하여 동부 해안 51 ha에서 최소한 연간 23톤의 건조중량을 얻을 수 있을 것으로 계산한 바 있다. 한편 Vadas 등(2004)은 미국 메인 주의 만에서 조하대에 서식하는 대형갈조(*Laminaria longicruris*)의 생장과 생산력을 조사하면서 회귀분석을 통하여 엽상체 면적으로부터 생물량을 예측하는 기법으로 만의 75 ha에서 다시마류의 생산이 연간 3.34×10^7 g C에 달할 것으로 추정하였다.

물론 이러한 비파괴적 표본추출과 회귀분석을 통한 생물량 추정은 나름대로 몇 가지 문제점을 안고 있음은 주지의 사실이다. 이를테면 유의한 결과를 얻기 위해서는 표본 수가 많아야 하고, 동일한 종이라 할지라도 지역과 계절에 따라 회귀분석의 함수값이 다르게 나타날 수 있으며, 피도의 정도에 따라라도 차이를 보이는 것이 사실이다(Rollon et al. 2003). 그럼에도 불구하고 피도 측정과 같은 비파괴적 표본추출과 회귀분석을 통한 생물량 추정은 현장에서 시간과 노력을 절약하며 신속하게 결과를 얻을 수 있다는 점과 자연 식생의 훼손을 최소화할 수 있다는 점을 장점으로 들 수 있다(Robbins and Boese 2002; 고 등 2008).

이러한 배경 아래 이 연구는 한국 연안 해조류 생물량의 연간 변동 양상을 파악하기 위한 노력의 일환으로 동해안 중부 지역 중 이제까지 해조군집의 양적 풍부성이 조사된 바 없는 대진 지역을 대상으로 대형 해조류의 종별 및 크기별 고유계수를 계량화하고 비파괴적 해조류 조사에 적합한 회귀분석 요소의 계수화를 통하여 조간대 및 조하대에 서식하는 해조류의 군집 구조와 분포 특성을 이해하고자 시도되었

다. 이 연구를 통하여 얻어지는 결과는 국지적인 해조군집의 특성 구명뿐만 아니라 나아가서 주요 해조류의 이산화탄소 흡수량 추산을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

재료 및 방법

이 조사는 동해 중부의 대진 지역에서 2006년 7월부터 2008년 4월까지 계절별로 8회에 걸쳐 실시되었다(Fig. 1). 해조류 조사는 정성적인 방법과 정량적인 방법을 동시에 수행하였으며, 조하대의 경우는 스쿠버다이빙에 의해 조사하였다. 조간대와 조하대의 1 m, 5 m, 10 m에 각각 5개의 50 cm × 50 cm 방형구를 설정하여(random point sampling, 5 replicates) 방형구내에 출현하는 모든 해조류의 피도를 측정하였다. 주로 조하대에 출현하는 일부 대형 해조류는 방형구내 개체수와 개체별 길이 등급(size-class: < 10 cm: size-class 1, 10 cm < size-class 2 < 20 cm, 20 cm < size-class 3 < 30 cm, 등)을 설정하여 개체별 길이 등급을 조사하였다(고 등 2008).

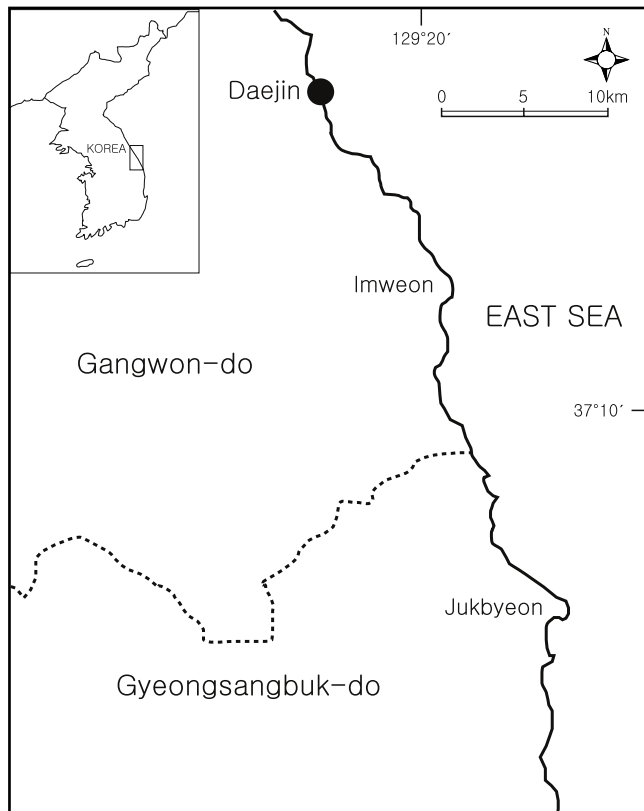
생물량 추정을 위한 해조류의 채취는 반복적인 조사로 인한 해조군집의 훼손을 최소화하기 위하여, 매 조사 시기마다 수십별로 설치한 5개의 방형구 가운데 대표성을 가지는 1개 방형구 내의 모든 해조류를 채취하여 부착 잡물들을 제거한 후 습중량으로 측정하였다. 채집된 재료는 현장에서 10% 포르말린-해수 용액으로 고정시켜 실험실로 운반하여 검경 동정하였다. 동정된 해조류의 학명과 목록 정리는 한국 해조목록의 분류체계(강 1968; 이와 강 1986, 2002) 및 일본해조류도감(千原 1996; 吉田 1998)을 기준으로 하였다. 출현종 목록은 녹조류, 갈조류, 홍조류 및 해산 종자식물에 국한하여 작성하였다.

생물량은 해조류 종별 피도 또는 길이 등급에 대한 습중량의 회귀공식을 도출하고 비파괴적인 방법을 통해 조사된 자료에 반영하여 산출하였으며 단위면적 당 무게(g wet wt m⁻²)로 환산하였다. 자료는 SPSS for window v. 10.0 통계 패키지를 이용하여 회귀분석 하였다(고 등 2008). 해조상 특성을 해석하는 지표로는 Chlorophyta/Phaeophyta의 C/P (Segawa 1956), Rhodophyta/Phaeophyta의 R/P (Feldmann 1937), 그리고 (Rhodophyta + Chlorophyta)/Phaeophyta의 (R+C)/P(Cheney 1977)를 이용하였다.

계절별로 조사된 출현종의 습중량을 산출한 후, 단위면적당 생물량에 대한 각 종별 습중량을 백분율(%)로 환산하여, 단위면적당 생물량 구성비율이 30% 이상이면 우점종(dominant species), 그리고 10-29%이면 준우점종(subdominant species)으로 판정하였다(김과 허 1998).

Table 1. The number of algal and sea grass species collected in Daejin

Year	2006			2007			2008		Sum
	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	
Chlorophyta	4	4	5	6	8	8	7	8	11
Phaeophyta	8	5	9	15	6	6	9	15	26
Rhodophyta	20	15	21	31	20	17	29	25	57
Sea grass	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Total	32	25	36	53	35	32	46	49	95

**Fig. 1.** Study site (●) on the mid-east coast of Korea.

결과 및 고찰

본 조사에서 관찰된 해조류를 문별로 종합한 결과는 Table 1과 같다. 조사기간을 통하여 녹조식물 11종, 갈조식물 26종, 홍조식물 57종 및 해산중자식물 1종의 총 95종의 해조류가 관찰되었다. 계절별로는 25-53종의 범위로 해조류가 관찰되었는데, 봄에 53종, 49종으로 가장 많이 출현한 반면, 가을에 25종, 32종으로 가장 적게 출현하여 봄에 출현종이 많은 계절적 추세를 보였다.

Chung 등(1991)은 동해안 갈남 해역에서 90종(녹조식물 8종, 갈조식물 21종, 홍조식물 61종)의 해조류를 보고하였는데, 본 조사에서도 이와 비슷한 결과를 보였다. Lee와 Kim

(1999)은 동해안 장호 해역의 해조류 구성비율을 녹조류 11.7%, 갈조류 25.2%, 홍조류 63.1%로 보고하였고, 김과 김(1991)은 울진 발전소 주변 해역의 해조류 구성비율을 녹조류 12.4%, 갈조류 25.6%, 홍조류 53.6%로 보고하였으며, 최 등(2006)은 울진 연안 조하대에서 2년에 걸친 조사에서 해조류 구성비율을 녹조류 12.6%, 갈조류 33.3%, 홍조류 54.0%로 보고한 바 있다. 이들 결과를 이번 조사에서 나타난 결과(녹조류 11.7%, 갈조류 27.7%, 홍조류 60.6%)와 비교해 볼 때, 출현종의 구성비율에서 큰 차이를 보이지 않았다.

4계절을 통하여 연중 발견되는 종으로는 녹조류 창자파래 (*Enteromorpha intestinalis*), 가시파래 (*Enteromorpha prolifera*), 구멍갈파래 (*Ulva pertusa*), 사카이대마디말 (*Cladophora sakaii*), 떡청각 (*Codium arabicum*), 청각 (*C. fragile*), 갈조류 패 (*Ishige okamurae*), 참그물바탕말 (*Dictyota dichotoma*), 툫 (*Hizikia fusiformis*), 팽생이모자반 (*Sargassum horneri*), 왜모자반 (*S. yezoense*), 홍조류 우뭇가사리 (*Gelidium amansii*), 작은구슬산호말 (*Corallina pilulifera*), 참도박 (*Grateloupia elliptica*), 참지누아리 (*G. filicina*), 개도박 (*G. lanceolata*), 붉은까막살 (*Prionitis cornea*), 부챗살 (*Ahnfeltiopsis flabelliformis*), 잔금분홍잎 (*Acrosorium polyneurum*), 참곱슬이 (*Plocamium telfairiae*), 참사슬풀 (*Champia parvula*), 개서실 (*Chondria crassicaulis*), 참보라색우무 (*Symphyclocladia latiuscula*), 무절산호조류 (*mbesioidean algae*), 해산중자식물 게바다말 (*Phyllospadix japonica*)의 총 25종이었다.

조사지역에서 해조상의 특색을 비교할 수 있는 지표로 Feldmann(1937)은 갈조식물에 대한 홍조식물의 비(R/P)를 제안하여 해조류의 지리적 분포한계를 구분하는 지수로 사용하였고, Segawa(1956)는 갈조식물에 대한 녹조식물의 비(C/P)를 수평분포지수로 사용하였다. 동해 중부 대진의 조간대 및 조하대에서 조사된 C/P ratio, R/P ratio, (R+C)/P ratio는 Table 2와 같다.

C/P ratio는 0.40에서 1.33까지 평균 0.42의 값으로 주로 여름과 가을에 높았고, 봄에 낮은 값으로 조사되었다. Chung 등(1991)은 갈남 해역에서 C/P ratio를 0.38로 보고하였고, Lee와 Kim(1999)의 동해안 장호 해역에서 조사된

Table 2. The seasonal changes of C/P, R/P and (R+C)/P in Daejin

Value	2006		2007		2008		Mean		
	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn		Winter	Spring
C/P	0.50	0.80	0.56	0.40	1.33	1.33	0.78	0.53	0.42
R/P	2.50	3.00	2.33	2.07	3.33	2.83	3.22	1.67	2.19
(R+C)/P	3.00	3.80	2.89	2.47	4.67	4.17	4.00	2.20	2.62

결과에서는 0.46의 값을 보고하여 이번 조사의 값과 비슷하게 나타났다.

R/P ratio와 (R+C)/P ratio는 각각 2.19와 2.62로 조사되었는데, 이러한 결과는 Lee와 Kim(1999)의 조사 결과에서 보고된 R/P ratio 평균 2.50, (R+C)/P ratio 평균 2.96의 값과 Chung 등(1991)의 조사 결과에서 보고된 2.90과 3.28의 값보다는 다소 낮게 나타났다.

(R+C)/P ratio는 여름과 가을 조사에서 다른 계절에 비해 상대적으로 높은 값을 보였다. 대진의 해조상은 (R+C)/P ratio가 평균 2.62로 나타나, Kang(1966)이 지적한 바와 같이 온대성 해조상의 특징을 나타내고 있는 것으로 판단된다.

이번 조사를 통하여 밝혀진 단위면적당 해조류 무게의 계절적 변화는 Table 3과 같다. 조사된 95종의 해조류 중 회귀 분석을 통하여 생물량으로 환산된 종들은 총 25종으로 조간대와 조하대를 포함한 단위면적당 평균 생물량은 1,292(904-1,945) g wet wt m⁻²로 나타났다. 조간대의 단위면적당 평균 생물량은 2,274(1,592-2,717) g wet wt m⁻²로 나타나, 조간대의 평균 생물량이 조간대 및 조하대를 포함한 전체 평균 생물량의 약 1.8배를 차지하는 것으로 나타났다. 이는 조사해역의 조하대 수심 10 m 지역에서 무절산호조류가 넓게 분포하고 있고, 단위면적당 생물량 또한 0에 가까운 값이 산정되어 생물량이 매우 적게 나타났는데 원인이 있다.

생물량 중 건중량은 본 연구와 직접 비교하기는 어려우나 김 등(1997)의 연구에서 주문진 조간대 지역의 계절별 생물량을 272-497 g dry wt m⁻²로 보고하였고, 김과 안(2005)은 울진원전 대조구(죽변)의 9년 동안 계절별로 실시한 조사에서 평균생물량을 588 g dry wt m⁻²로 보고하였다.

기존의 해조군집에 관한 생물량 연구들 중 습중량을 조사한 사례는 강릉시 연곡천 하구연안의 5개 지점을 대상으로 한 연구에서 해조군집의 생물량 분포가 446-1,089 g wet wt m⁻²로 조사되었고(김 등 2000), 김 등(1983)은 강릉 안인진 일대의 조하대 해조류 조사에서 생물량 분포가 780-2,000 g wet wt m⁻²로 보고하여, 대진에서 조사된 생물량과 유사했다.

주요종의 평균생물량은 모자반 속이 43.6-607.2 g wet wt m⁻²로 평균생물량은 371 g wet wt m⁻², 최대생물량은 1,931 g wet wt m⁻²로 조사되어 대진 지역의 가장 높은 평균생물량

을 보이는 우점종으로 조사되었으며, 다음으로 작은구슬산호말이 50.0-504.4 g wet wt m⁻², 게바다말이 35.6-325.2 g wet wt m⁻²의 분포로 조사되었다(Fig. 2). 계절별 평균 생물량의 변동은 932-1,659 g wet wt m⁻²로 봄(1,418 g wet wt m⁻²)과 여름(1,659 g wet wt m⁻²)에 높은 생물량을 보였으며, 가을(932 g wet wt m⁻²)과 겨울(1,160 g wet wt m⁻²)에 생물량이 감소하는 것으로 나타났다.

이러한 계절성은 여러 연구에서 언급된 바 있는데, 먼저 김 등(1997)의 동해안 주문진 연구에서는 여름(497 g dry wt m⁻²)에 가장 많았고, 곧 이어 가을(272 g dry wt m⁻²)에 가장 적게 나타났으며, 이후 다시 차츰 증가하는 경향을 보이는 것으로 보고하였다. 고(1983)의 동해안 죽도 연구에서도 여름에 최대, 가을에 최소 생물량을 보고하였으며, 김과 최(1995)의 동해안 울진원전 주변 4개 지점에서 조사된 평균생물량 또한 봄(764 g dry wt m⁻²)과 여름(569 g dry wt m⁻²)에 많았고, 가을(317 g dry wt m⁻²)과 겨울(508 g dry wt m⁻²)에 적은 계절적 추세를 보여 본 연구와 일치함을 보였다.

대진의 해조군집에서 계절에 따른 우점 및 준우점종은 Table 4와 같다. 출현종 가운데 갈조식물 모자반 속이 모든 계절에서 우점적인 생육을 보여서, 동해 중부 대진 연안을 대표하는 해조류 우점종으로 밝혀졌다. 계절별로는 여름에 모자반 속, 게바다말, 작은구슬산호말, 참보라색우무, 가을에는 모자반 속, 작은구슬산호말, 게바다말, 봄에는 모자반 속 외에 작은구슬산호말, 참보라색우무, 툫의 생물량이 높게 나타나 우점 및 준우점종을 차지하였다.

수직분포는 식물군집의 가장 중요한 속성의 하나로서 해조류의 경우 건조, 광선에 대한 노출, 경쟁 등의 환경요인에 의해서 결정된다(Dring 1992; 부 1987). 생물량 자료를 통한 대진의 수직분포 변화는 Table 5와 같다.

생물량으로 살펴본 대진 해역에서 조사한 해조류의 수직분포는 조간대에서 작은구슬산호말, 참보라색우무, 모자반 속, 툫, 참도박 등으로 다양한 해조류들이 우점하고 있으며, 조하대 수심 1 m에서는 모자반 속이 우점하는 가운데 게바다말, 떡청각, 미역(*Undaria pinnatifida*), 작은구슬산호말, 개도박, 잔금분홍잎 등이 함께 우점하였다. 수심 5 m에서 대표적인 종은 모자반 속과 게바다말 외에도 참도박, 우뚝가사

Table 3. Seasonal changes in mean biomass of major algal and sea grass species in Daejin (unit: g wet weight m⁻²)

Year Taxa\Season	2006		2007				2008	
	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring
<i>Codium arabicum</i>	2.05	1.35	10.45	28.20	37.15	6.93	29.70	12.90
<i>Colpomenia sinuosa</i>			0.58	3.35			0.58	1.13
<i>Undaria pinnatifida</i>	2.68			31.13				30.25
<i>Dictyopterus divaricata</i>	7.25		1.58					
<i>Dictyota dichotoma</i>	3.05	0.10	3.43	1.25	0.08	3.13	8.58	7.48
<i>Pachydictyon coriaceum</i>				3.60				
<i>Hizikia fusiformis</i>	18.45	8.20	6.50	24.78	24.28	14.53	22.58	36.05
<i>Sargassum</i> spp.	10.93	93.95	94.60	151.80	104.63	65.03	104.05	116.28
<i>Gelidium amansii</i>	14.30	1.03		7.70				
<i>Corallina pilulifera</i>	126.08	78.93	55.25	12.55	67.78	46.45	40.75	51.70
<i>Grateloupia filicina</i>	1.73	0.53		0.38	0.25	0.53		1.35
<i>Grateloupia elliptica</i>	42.10	0.13	0.18	4.00	0.13		0.23	3.10
<i>Grateloupia lanceolata</i>	15.93	4.85		0.15	2.80		0.23	0.15
<i>Prionitis cornea</i>	14.85	0.73	0.20	1.08	2.38		3.35	0.30
<i>Chondracanthus tenellus</i>	21.05							
<i>Chondrus ocellatus</i>	82.05						0.58	
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	7.33			0.95		0.80	2.23	
<i>Plocamium telfairiae</i>		0.15			1.00	1.00	2.38	1.00
<i>Lomentaria catenata</i>	1.83			2.63				6.55
<i>Campylaephora crassa</i>			0.70	5.85				
<i>Acrosorium polyneurum</i>	4.68	0.05	1.45	0.40	1.10	4.18	22.95	7.73
<i>Chondria crassicaulis</i>	0.48	0.98		1.45	6.55	9.68	10.78	10.78
<i>Laurencia</i> sp.	0.73			4.30	10.63			
<i>Symphyocladia latiuscula</i>	99.90	2.63	52.28	52.85	3.38	37.73	8.90	20.98
<i>Phyllospadix japonica</i>	8.93	32.53	58.73	30.78	81.25	49.80	36.18	32.23

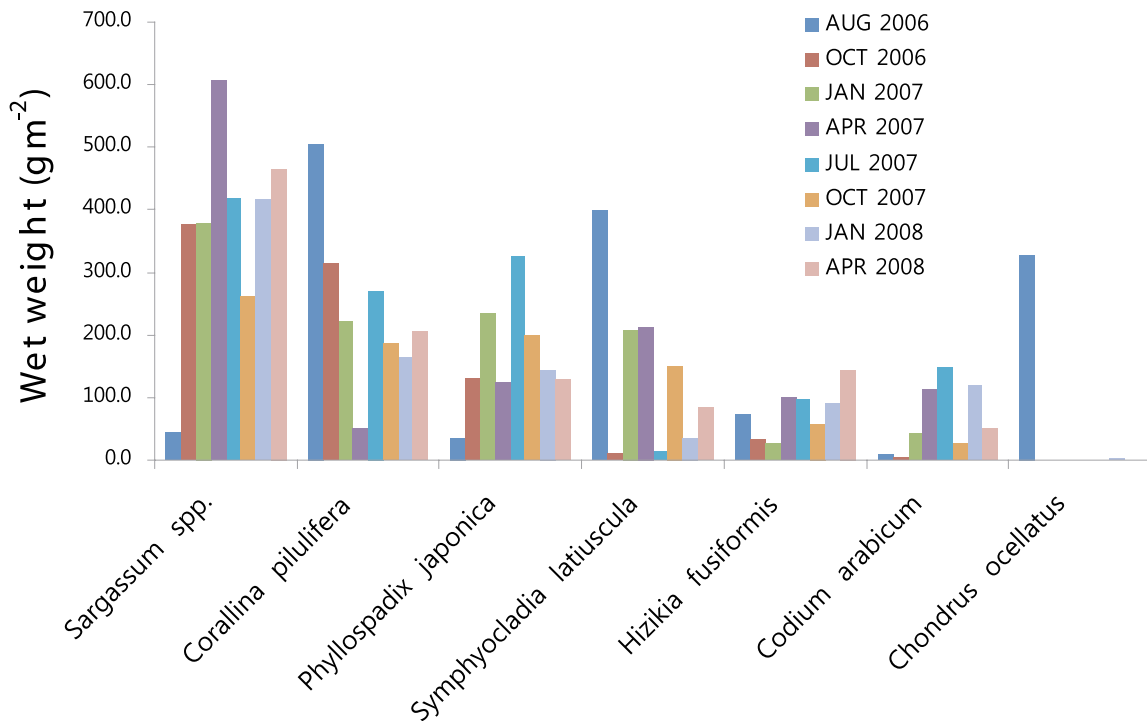


Fig. 2. Seasonal Changes in biomass of major algal and sea grass species in Daejin

Table 4. Dominant and subdominant species in Daejin

Year	Season	Dominant and subdominant species			
2006	Summer	<i>Corallina pilulifera</i>	<i>Symphyclocladia latiuscula</i>	<i>Chondrus ocellatus</i>	
	Autumn	<i>Sargassum</i> spp. *	<i>Corallina pilulifera</i> *	<i>Phyllospadix japonica</i>	
2007	Winter	<i>Sargassum</i> spp. *	<i>Phyllospadix japonica</i>	<i>Corallina pilulifera</i>	<i>Symphyclocladia latiuscula</i>
	Spring	<i>Sargassum</i> spp. *	<i>Symphyclocladia latiuscula</i>		
	Summer	<i>Sargassum</i> spp. *	<i>Phyllospadix japonica</i>	<i>Corallina pilulifera</i>	<i>Codium arabicum</i>
	Autumn	<i>Sargassum</i> spp.	<i>Phyllospadix japonica</i>	<i>Corallina pilulifera</i>	<i>Symphyclocladia latiuscula</i>
2008	Winter	<i>Sargassum</i> spp. *	<i>Corallina pilulifera</i>	<i>Phyllospadix japonica</i>	<i>Codium arabicum</i>
	Spring	<i>Sargassum</i> spp. *	<i>Corallina pilulifera</i>	<i>Hizikia fusiformis</i>	

*: dominant species

리, 떡청각, 미역, 진두발 등이 함께 생물량이 높았다. 조하대 수심 10 m에서는 해산종자식물 게바다말 이외에도 녹조류 떡청각, 갈조류 모자반 속, 미역, 홍조류 부챗살, 진두발 등이 우점하여 분포하였다.

동해 중부 연안의 해조 군집조사 중 조하대 수직분포에 관하여 최 등(2006)은 울진해역에서 수심 3 m에서는 미역, 애기다시마(*Laminaria religiosa*)와 모자반 속으로 주로 대형 갈조류가 우점한다고 하였고, 수심 6 m에서도 미역, 애기다시마, 모자반 속 해조류로 수심 3 m와 동일하게 갈조류가 대표적이었다고 보고하였다. 또한 수심 9 m의 대표적인 해조류는 미역, 다시마, 모자반 속 해조류와 녹조류 구멍갈파래, 홍조류 우뚝가사리, 돌가사리(*Gigartina tenella*) 등의 현존량이 높았고, 수심 12 m의 경우에는 녹조류 청각, 갈조류 쇠꼬리산말(*Desmarestia viridis*), 미끈뽀대그물말(*Dictyopecteris divaricata*), 홍조류 우뚝가사리, 참곱슬이, 잔금분홍잎 등이 계절에 따라서 대표되는 해조류로 출현하는 경향을 보고하였다.

또한 김 등(1983)은 강릉 남쪽 3 km 지점의 안인진 일대의 해조류 조사결과 조간대 상부에서 염주말, 조간대 중부에서 지층이(*S. thunbergii*), 조간대 하부에서 벗그물바탕말(*Dilophus okamurae*), 서실 속(*Laurencia* spp.), 산호말류(coralline algae)가 우점한다고 하였고, 수심 0.2-2 m 사이에서 벗그물바탕말 이외에 불레기말, 모자반류(*S. horneri*, *S. miyabei*), 수심 2-9 m 깊이에서는 검은서실(*Chondrophycus intermedia*), 보라잎(*Delesseria serrulata*), 참갈고리풀(*Bonnemaisonia hamifera*), 엇가지풀(*Heterosiphonia japonica*) 등이 생육하고 있고, 수심 9-10 m의 수심에서는 미역과 마디잘록이(*Lomentaria catenata*)가 대표하는 종으로 보고하였다.

한편 Chung 등(1991)은 동해안 갈남의 해조류 조사결과 여름에 조간대에서 참국수나물(*Nemalion vermiculare*), 툯, 벗그물바탕말이 우점하고 있으며, 수심 0.5-3 m 깊이에서는 참보라색우무, 작은구슬산호말, 붉은까막살, 수심 3-4 m에서는 옥덩굴(*Caulerpa okamurae*), 큰서실(*L. nipponica*), 붉은

까막살, 진두발, 팽생이모자반 등이 대표되는 해조류로 출현하고 있고, 겨울에 조간대에서는 김 속(*Porphyra* spp.), 툯 등이 우점하고 있고, 수심 0.5-4 m 깊이까지 전체적으로 미역, 왜모자반, 벗그물바탕말이 우점하여 출현하고 있음을 보고하였는데 이번 연구에서도 유사한 결과를 보이고 있다.

피도로 살펴본 대진 해조군집의 계절별 수직분포 변화는 조간대에서 작은구슬산호말, 참보라색우무, 툯, 참도박이 여름에서 봄까지 연중 분포하였고, 왜모자반, 참그물바탕말, 잔금분홍잎, 떡청각도 한 계절을 제외한 3계절에 걸친 분포를 보였다. 조하대 1 m에서는 왜모자반이 연중 분포하였고, 무절산호조류, 팽생이모자반, 참보라색우무, 잔금분홍잎, 떡청각이 3계절에 걸쳐 분포를 보였다. 조하대 5 m에서는 연중 분포하는 종으로 무절산호조류가 조사되었고, 게바다말이 여름에서 겨울까지, 왜모자반과 떡청각이 가을부터 봄까지 분포하였다. 조하대 10 m에서는 게바다말이 연중 분포하는 종으로 나타났고, 왜모자반과 떡청각은 가을부터 봄까지, 붉은까막살은 여름, 가을, 봄에 분포하였다.

국내 갯녹음 현상에 대해서는 손 등(1982)에 의해 최초로 보고되었으며, 최 등(2006)에 따르면 국내에 보고된 갯녹음 현상은 제주도에서부터 시작하여 이제는 동, 서, 남해안 전 연안의 조간대와 조하대에 확산되어 해조상의 변화와 해조류 종조성의 감소 등 해양 생태계의 극심한 변화를 유발하는 단계까지 이르렀고, 최근에는 갯녹음의 진행 및 확산이 동해안 연안을 중심으로 빠르게 진행되고 있다고 보고하였다.

조사 지역인 대진해역은 외해에 직접 접하고 있어 파도의 영향을 많이 받는 지역으로, 조하대의 수심 1-5 m의 기질은 주로 암반으로 구성되어 있고, 수심 10 m는 대부분 모래와 일부 암반이 혼합되어 있는 특징이 있다. 수심 5 m까지는 모자반류와 잘피류의 혼합 군락이 암반을 기질로 발달하고 있으나, 무절산호조류가 우점하는 갯녹음 지역 또한 넓은 분포를 보이고 있다. 수심 10 m에서는 일부 자연 암반에서 모자반류와 잘피류 등 일부 해조류가 무절산호조류와 함께 암반을 덮고 있을 뿐, 대부분의 암반에서 무절산호조류만이 우점

Table 5. Vertical distributional patterns of important species in intertidal and subtidal zone in Daejin

Year	Season	Intertidal	Subtidal (-1 m)	Subtidal (-5 m)	Subtidal (-10 m)
2006	Summer	<i>Corallina pilulifera</i> <i>Grateloupia elliptica</i> <i>Symphycyocladia latiuscula</i>	<i>Symphycyocladia latiuscula</i> <i>Corallina pilulifera</i> <i>Grateloupia lanceolata</i>	<i>Chondrus ocellatus</i> <i>Gelidium amansii</i> <i>Grateloupia elliptica</i>	<i>Chondrus ocellatus</i> <i>Chondracanthus tenellus</i> <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>
	Autumn	<i>Corallina pilulifera</i> <i>Hizikia fusiformis</i>	<i>Sargassum</i> spp.	<i>Sargassum</i> spp. <i>Phyllospadix japonica</i>	<i>Sargassum</i> spp. <i>Phyllospadix japonica</i>
2007	Winter	<i>Corallina pilulifera</i> <i>Symphycyocladia latiuscula</i> <i>Sargassum</i> spp.	<i>Sargassum</i> spp. <i>Phyllospadix japonica</i>	<i>Sargassum</i> spp. <i>Phyllospadix japonica</i> <i>Codium arabicum</i>	<i>Phyllospadix japonica</i> <i>Sargassum</i> spp. <i>Codium arabicum</i>
	Spring	<i>Symphycyocladia latiuscula</i> <i>Sargassum</i> spp. <i>Hizikia fusiformis</i>	<i>Sargassum</i> spp. <i>Phyllospadix japonica</i> <i>Undaria pinnatifida</i>	<i>Sargassum</i> spp. <i>Codium arabicum</i> <i>Gelidium amansii</i>	<i>Sargassum</i> spp. <i>Phyllospadix japonica</i> <i>Codium arabicum</i>
	Summer	<i>Corallina pilulifera</i> <i>Sargassum</i> spp. <i>Hizikia fusiformis</i>	<i>Sargassum</i> spp. <i>Phyllospadix japonica</i> <i>Codium arabicum</i>	<i>Phyllospadix japonica</i> <i>Sargassum</i> spp. <i>Codium arabicum</i>	<i>Phyllospadix japonica</i> <i>Codium arabicum</i>
	Autumn	<i>Corallina pilulifera</i> <i>Symphycyocladia latiuscula</i> <i>Sargassum</i> spp.	<i>Sargassum</i> spp. <i>Phyllospadix japonica</i> <i>Codium arabicum</i>	<i>Phyllospadix japonica</i> <i>Sargassum</i> spp.	<i>Phyllospadix japonica</i>
2008	Winter	<i>Corallina pilulifera</i> <i>Sargassum</i> spp. <i>Hizikia fusiformis</i>	<i>Sargassum</i> spp. <i>Codium arabicum</i> <i>Acrosorium polyneurum</i>	<i>Sargassum</i> spp. <i>Phyllospadix japonica</i>	<i>Phyllospadix japonica</i> <i>Sargassum</i> spp.
	Spring	<i>Corallina pilulifera</i> <i>Hizikia fusiformis</i> <i>Sargassum</i> spp.	<i>Sargassum</i> spp. <i>Phyllospadix japonica</i> <i>Undaria pinnatifida</i>	<i>Sargassum</i> spp. <i>Phyllospadix japonica</i> <i>Undaria pinnatifida</i>	<i>Phyllospadix japonica</i> <i>Undaria pinnatifida</i> <i>Sargassum</i> spp.

하고 있다.

이번 조사로 대진 지역의 갯녹음이 조하대에 넓게 확산되어 분포하고 있음이 확인되었으며, 2년간 조사된 연구 결과 해조류 생물량의 변동 및 해조군집은 인근 지역인 울진, 죽변, 주문진, 강릉 지역과 유사하게 나타났으나, 인근 지역의 조사가 대부분 조간대에서 수행되어 정확한 비교에는 한계를 지니고 있다 할 수 있다. 따라서 국내 연안 해조류 생물량의 연간 변동에 대한 연구가 향후 지속적으로 수행될 필요가 있다고 판단된다.

사 사

본 연구는 국토해양부 '해조류를 이용한 온실가스 저감 연구사업'의 연구비 지원에 의해 수행되었다. 현장 조사에 협조해 준 고재환 씨와 박중구 박사 및 대진리 어촌계 관계자 여러분에게 사의를 표한다. 논문을 심사하고 유익한 조언을 아끼지 않으신 편집위원장과 심사위원들에게 감사드린다.

참고문헌

강제원. 1968. 한국동식물도감. 제8권 식물편(해조류). 문교부.
 고영욱, 성건희, 김정하. 2008. 회귀분석을 이용한 해조류 생물량 측정을 위한 방법론. 조류학회지 **23**: (인쇄중).
 고철환. 1983. 저서식물의 군집구조와 생산성(동해안, 죽도) II. 해조류 식생의 계절변화와 대형갈조류 성장양상의 관계. 식물학회지 **26**: 181-190.
 김영환, 남기완, 손철현. 1997. 동해안 주문진 조간대의 저서 해조류: 해조상, 분포 및 군집구조. 조류학회지 **12**: 117-130.
 김영환, 안중관. 2005. 동해안 3개 원전 배수로 해조군집의 생태적 특성. 조류학회지 **20**: 217-224.
 김영환, 안중관, 윤희동, 장민아. 2007. 고리원전의 온배수 방출이 주변 해조군집에 미치는 영향. 조류학회지 **22**: 297-304.
 김영환, 안중관, 이재일, 엄희문. 2004. 동해안 울진원전의 온배수 방출이 주변 해조군집에 미치는 영향. 조류학회지 **19**: 257-270.
 김영환, 최상일. 1995. 발전소 냉각계통이 해조식생에 미치는 영향. 조류학회지 **10**: 121-141.
 김영환, 허성희. 1998. 서해안 영광원자력발전소 주변 해조군집의 종조성과 생물량. 한국수산학회지 **31**: 186-194.
 김형근, 박중구, 손용수. 2000. 연곡천 하구연안의 갯녹음(백화) 현상. 환경과학연구소논문 **3**: 35-41.
 김흥기, 김영환. 1991. 한국 3개 원자력발전소 주변 해조군집. 조류학회지 **6**: 157-192.
 김훈수, 이인규, 고철환, 김일희, 서영배, 성낙길. 1983. 한국 연안

- 해역의 저서생물 군집에 관한 연구 I. 동해안(안인진)의 저서 생물 군집구조. 서울대학교 자연대논문집 **8**: 71-108.
- 부성민. 1987. 강원도 해역 해조류의 분포. 조류학회지 **2**: 223-235.
- 손철현, 이인규, 강제원. 1982. 남해안 돌산도의 해조 I. 부산수대해 연보 **14**: 37-50.
- 오윤식, 이인규, 부성민. 1990. 한국산 유용해조 특히 식용, 약용 및 공업용 해조에 대한 주해. 조류학회지 **5**: 57-71.
- 이용필, 강서영. 2002. 한국산 해조류의 목록. 제주대학교 출판부. 662 pp.
- 이인규, 강제원. 1986. 한국산 해조류의 목록. 조류학회지 **1**: 311-325.
- 최창근, 광석남, 손철현. 2006. 동해안 울진 연안 조하대 저서 해조류의 군집구조. 조류학회지 **21**: 463-470.
- 吉田忠生. 1998. 新日本海藻誌. 内田老鶴圃.
- 千原光雄. 1996. 學研生物圖鑑. 海藻. 學習研究社.
- Brower J.E., Zar J.H. and von Ende C.N. 1997. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. 4th ed. WCB McGraw-Hill, Boston, 273 pp.
- Cheney D.P. 1977. (R & C)/P - A new and improved ratio for comparing seaweed floras. *Suppl. J. Phycol.* **13**: 129.
- Chung H., Lee H.J. and Lee I.K. 1991. Vertical distribution of marine algae on a Gallam rocky shore of the mid-east coast of Korea. *Korean J. Phycol.* **6**: 55-67.
- Dawes C.J. 1998. *Marine Botany*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 480 pp.
- De Wreede R.E. 1985. Destructive (harvest) sampling. In: Littler M.M. and Littler D.S. (eds), *Handbook of Phycological Methods. Ecological Field Methods: Macroalgae*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 147-160.
- Dring M.J. 1992. *The Biology of Marine Plants*. Cambridge University Press, Cambridge, 199 pp.
- Feldmann J. 1937. Recherches sur la vegetation marine de la Mediteranee. *Rev. Algol.* **10**: 1-339.
- Graham L.E. and Wilcox L.W. 2000. *Algae*. Prentice Hall, NJ, 640 pp.
- Kang J.W. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull. Pusan Fish. Coll.* **7**: 1-125.
- Lee I.K. and Kim Y.H. 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.
- Littler M.M. and Littler D.S. 1985. Nondestructive sampling. In: Littler M.M. and Littler D.S. (eds), *Handbook of Phycological Methods. Ecological Field Methods: Macroalgae*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 161-175.
- Robbins B.D. and Boese B.L. 2002. Macroalgal volume: a surrogate for biomass in some green algae. *Bot. Mar.* **45**: 586-588.
- Rollon R.N., Samson M.S., Roleda M.Y., Arano K.G., Vergara M.W.B and Licuanan W.Y. 2003. Estimating biomass from the cover of *Gelidiella acerosa* along the coasts of eastern Philippines. *Bot. Mar.* **46**: 497-502.
- Segawa S. 1956. *Coloured Illustrations of the Seaweeds of Japan*. Hoikusha Publ. Co. Osaka, 195 pp.
- Vadas R.L., Beal B.F., Wright W.A., Nickl S. and Emerson S. 2004. Growth and productivity of sublittoral fringe kelps (*Laminaria longicruris*) Bach. Pyl. in Cobscook Bay, Maine. *Northeastern Naturalist* **11**: 143-162.
- Worm B., Lotze H.K. 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.
- Yoo J.S. and Kim Y.H. 2003. Community dynamics of the benthic marine algae in Hakampo, the western coast of Korea. *Korean J. Environ. Biol.* **21**: 428-438.

Received 24 July 2008

Accepted 10 October 2008