

수정된 사진방형구법을 이용한 조하대 해조류의 군집구조 분석

김영대·박미선·문태석·안중관¹·김수지¹·김영환^{1*}

국립수산과학원 동해수산연구소, ¹충북대학교 생물학과

An Analysis of Subtidal Macroalgal Community Structure Using a Modified Photo Quadrat Method

Young Dae Kim, Mi Seun Park, Tae Seok Moon, Jung Kwan Ahn¹,
Su Ji Kim¹ and Young Hwan Kim^{1*}

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

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

The species composition and distributions of subtidal marine algae on the east coast of Korea were studied. We examined all species found in permanent quadrats at three depths (3 m, 5 m and 10 m) at Sacheon between October 2008 and December 2009. Coverage and frequency data were collected monthly via underwater photography and analyzed using a modified photo quadrat method. Of the 82 species identified, 10 were chlorophytes, 21 were phaeophytes, 50 were rhodophytes, and one was a seagrass. The largest number of species (59) was found 10 m deep, while the fewest (39) species were present at 5 m. A total 17 species (two green, five brown, and 10 red algae) occurred at all three depths. The vertical distribution of the study site was characterized by the melobesioidean algae, *Ulva pertusa*, *Sargassum confusum*, *Phyllospadix iwatensis*, and *Codium arabicum* at 3 m deep, melobesioidean algae and *U. pertusa* at 5 m deep, and *Corallina pilulifera*, *Prionitis cornea*, *Chondracanthus tenellus* and melobesioidean algae at 10 m deep. Given that coralline algae such as melobesioidean algae and *C. pilulifera* play important roles in coastal ecosystems, thorough studies on the spatial and temporal variations of coralline algae and the dynamics of marine algal communities on the east coast of Korea are now required.

Key words: Modified photo quadrat method, East coast, Subtidal zone, Marine algae, Community

서 론

우리나라 동해의 해조류는 20세기 전반에 소수의 외국인에 의하여 단편적으로 그 분포가 밝혀지다가 (Cotton, 1906; Okamura, 1915a, b, 1917; Grubb, 1932), Kang (1966)이 한국산 해조류의 지리적 분포를 논하면서 동해안을 원산만 이북의 동해안 북구 (Northern East Coast Section)와 원산만에서 영일만 남쪽 울기까지의 동해안 남구 (Southern East Coast Section)로 구분하였다. 이 가운데 동해안 남구의 해조상은 한대종 (북방계) 10%, 온대종 70%, 아열대종 (남방계) 4% 및 범세계종 16%로 구성된다. 이와 함께 Kang (1966)은 동해안 남구에 출현하는 해조류 196종 (남조류 3종, 녹조류 25종, 갈조류 48종, 홍조류 120종)의 목록을 정리하였다.

동해안의 해조류는 20세기 후반부터 본격적으로 출현종 목록이 밝혀지기 시작하였으며, Boo (1987)는 Okamura (1915a) 이후 강원도 해역을 대상으로 보고된 해조류를 종합하여 총 231종 (남조류 9종, 녹조류 22종, 갈조류 55종, 홍조류 145종)의 목록을 정리하였다. 이후 Lee (1991)는 216종 (녹조류 25종, 갈조류 52종, 홍조류 139종), 그리고 Lee and Kim (1999)

은 414종 (남조류 33종, 녹조류 51종, 갈조류 99종, 홍조류 231종)의 해조류 목록을 정리하였다. 이를 20세기 후반까지 한국에 출현하는 것으로 집계된 해조류와 분류군별로 비교하여 볼 때 (Lee and Kang, 1986), 동해안에는 남조류 69%, 녹조류 63%, 갈조류 73%, 홍조류 65%가 생육하고, 전체적으로는 한국산 해조류의 약 67%가 동해안에 분포하는 것이다.

동해안에 출현하는 해조류의 종 다양성 뿐만 아니라 군집의 정량적 분석방법도 20세기 후반부터 활발하게 연구되었다. 이를테면 Kim and Lee (1981)는 경북 월성군 일대 조간대의 해조군집을 대상으로 배열법 (ordination)과 무리분석 (cluster analysis)을 수행하여 조간대 내의 조위별 차이보다는 지리적인 차이, 특히 외해로의 파도의 노출 정도의 차이에서 유의적인 변이가 나타남을 관찰하였다. 이후 동해안 전역에 걸친 해조군집의 연구는 Lee et al. (2001), Choi et al. (2006), Shin et al. (2008a, b; 2011) 등에서 상세하게 다루고 있다.

이처럼 최근 수십 년간 동해안 해조류의 종조성과 군집구조에 관한 정보가 다양하게 축적되고 있음에도 불구하고 연구의 대부분이 조간대 해조류를 대상으로 수행되었다 (이를테면 Kim and Lee, 1981; Boo and Lee, 1986; Lee et al., 1993, 2001; Kim et al., 2004). 동해안은 서해안이나 남해안과 달리 조석이

*Corresponding author: kimyh@cbnu.ac.kr

매우 적어서 조간대의 폭이 좁은 탓에 대부분의 해조류가 조간대보다는 조하대에 주로 출현하고 있지만, 20세기에 조하대 해조류를 대상으로 연구한 자료는 오토리 죽도 (Koh, 1983; Koh and Sung, 1983; Koh et al., 1989), 봉포리 죽도 (Nam, 1986), 안인진 (Kim et al., 1983), 갈남 (Chung et al., 1991) 등에서 조사된 결과가 있을 뿐이다. 물론 금세기에 접어들면서 동해안의 조하대 해조류 연구가 활기를 띠고 있지만 (Yoo, 2003; Choi et al., 2006; Kim et al., 2007, 2010; Shin et al., 2008a, b, 2011), 동해안 연안의 조하대 해조군집의 특성을 파악하기에는 다소 미흡하다고 평가된다.

특수 장비를 그다지 필요로 하지 않는 조간대 해조류 조사와는 달리 조하대의 해조류를 조사할 때에는 SCUBA 등 잠수장치를 갖춰야 한다는 점이 가장 큰 문제점이지만 (Foster et al., 1985), 제한된 잠수시간 내에 조사를 수행하는 것도 그에 못지않게 중요한 문제점으로 간주된다 (Parravicini et al., 2009). 후자의 문제점에 대하여 해조류를 포함하여 다양한 연안생물을 연구하는 많은 학자들은 현장에서 소요되는 조사시간을 줄이는 대안으로 수중카메라 또는 수중비디오카메라로 방형구 내의 해조류나 잘피류의 식생을 촬영하고 있다 (McDonald et al., 2006; Alvaro et al., 2007; Celliers et al., 2007; Kutser et al., 2007). 이렇게 촬영된 사진 또는 영상을 바탕으로 실험실에서는 사진방형구법 (photo quadrat method) 또는 점방형구법 (point quadrat method)으로 해조류의 피도나 빈도를 조사하거나 (Littler et al., 1979; Littler, 1980; Littler and Littler, 1985; Foster et al., 1991), 퍼스널 컴퓨터 (PC)의 화상처리 프로그램을 이용한 화상분석 (image analysis)을 시도하고 있다 (Chung et al., 1997; Choi, 2001; Beuchel et al., 2006).

본 연구는 전통적인 사진방형구법을 보완하여 동해안 중부에 위치한 사천해안의 조하대 해조군집을 분석하였다. 본 연구에서 사용된 수정된 사진방형구법 (modified photo quadrat method)은 수중연구의 조사시간을 최소화하며 전통적인 연구방법에 비해 간편하고 보다 정밀하게 해조류 군집의 구조를 파악할 수 있는 장점이 있다.

재료 및 방법

조사지 개황

우리나라 동해안은 해안선이 단조롭고 비교적 수심이 깊으며, 외해와의 해수 교환이 활발한 지형적 특성을 갖고 있다. 대부분의 해안선이 외해에 직접 노출되어 있어서 파도의 영향을 크게 받으며, 조석이 매우 적어서 조차는 0.3 m 내외에 불과하므로 조간대의 폭이 좁은 특징을 나타낸다.

동해안에 영향을 미치는 수괴는 크게 두 가지로써, 그 하나는 대한해협을 통해 연안 쪽으로 유입되는 대마난류의 지류인 고온-고염-저영양염의 동한난류 수괴이고, 다른 하나는 북쪽에서 겨울철 냉각에 의해 형성되어 유입되는 저온-저염-고영양염의 북한난류 수괴이다 (Koh et al., 1997). 동한난류와 북한난류는 시·공간적으로 복잡한 변화를 보이며, 연안 쪽으로 유입되는 난류는 남하하는 한류 세력과 죽변-주문진 부근에서 만나 혼합되면서 동쪽의 울릉도 쪽으로 방향을 전환하여

전선을 형성한다. 따라서 동해안은 우리나라 연안 가운데 북방계 해조류가 가장 많이 관찰되는 곳이다 (Kang, 1968).

이 연구는 강원도 강릉시 경포대 해변으로부터 북방 10 km 지점에 위치하는 사천 (37°50'N, 128°52'E)의 조하대에서 실시되었다. 해조류 조사는 영구방형구 (고정방형구, permanent quadrat)를 이용한 비파괴적 표본추출 (non-destructive sampling)에 따랐다 (Littler and Littler, 1985).

자료 수집

예비조사를 통하여 조사지의 조하대 해조군집의 수직적 분포를 상부, 중부 및 하부로 대별하는 것으로 판단되는 수심 3 m, 5 m 및 10 m 지점을 대상으로 2008년 10월에 1×1 m 영구방형구를 설치하였다. 영구방형구는 모든 수심에서 2개씩 설치하였고, 수심 10 m의 경우에는 조도의 감소에 따른 종 동정의 문제를 보완하기 위하여 1개의 영구방형구를 추가로 설치하였다. 이후 2009년 12월까지 매월 영구방형구 중심에 스테인레스강으로 제작한 0.5×0.5 m 방형구를 놓아 디지털 카메라로 수중 사진을 촬영하였다. 이때 대형 조류에 가려지는 해조류의 동정을 위하여 바닥의 조류가 보이도록 대형 조류의 조관 (canopy)을 움직여 한 번 더 사진을 촬영하였고, 화면상에서 종 동정이 어려울 것으로 예상되는 조류는 주변에서 소량 채취하여 동정에 참고하였다. 다만 2009년 4월과 11월에는 해양 악화로 인하여 조사가 이루어지지 못하였다.

종조성 분석

수심별로 매월 영구방형구 내에 출현한 해조류를 주변에서 함께 채집한 조류를 참고하고 PC 모니터의 확대된 화상을 이용하여 종을 식별하고 종조성을 파악하였다. 해조류 출현종의 목록 정비와 국명 인용은 Lee and Kang (1986, 2002)과 Lee (2008)에 따랐다. 여기서 남조류 (blue-green algae)는 최근 세균의 일종인 남세균 (cyanobacteria)으로 간주하기 때문에 조사 대상에서 제외하였으나 (Graham et al., 2009), 해조류와 함께 출현하면서 연안 해산식물군집에서 중요한 기능을 수행하는 잘피류 (seagrass)는 조사 대상에 포함시켰다. 한편 무절산호조류 (민산호말, melobesioidean algae)는 PC 모니터 상에서 종 수준의 정확한 동정이 어려운 탓에 부득이 무절산호조류로 일괄 처리하였다.

피도, 빈도 및 우점도 파악

수심별로 매월 영구방형구에 출현한 해조류를 PC 모니터의 화상을 이용하여 종별 피도와 빈도를 측정하였다. 여기서 슬라이드 필름을 투광기 (projector)로 종이에 투영하는 고전적인 사진방형구법 (Littler, 1980; Littler and Littler, 1985)을 다소 변형시켜 다음과 같은 방법으로 조사하였다.

먼저 모니터 전면에 1 cm 간격의 빨간 점이 격자 모양으로 표시된 폴리에스테르 필름 (polyester film)을 부착하였다. 편집된 분석용 화상 자료를 대상으로 먼저 방형구 전체의 빨간 점의 개수 (Ct)를 측정하고, 각 종이 걸쳐있는 빨간 점의 개수 (Ca)를 측정하여 종별 피도 (Ci)와 종별 상대피도 (RCi)를 다음과 같이 계산하였다 (Cox, 1996; Brower et al., 1998).

종별 피도 $C_i = Ca/Ct$

종별 상대피도 $RC_i (%) = C_i / \sum C$

(여기서 $\sum C =$ 모든 종의 피도 합계)

이와 같은 방법을 영구방형구마다 2회 반복하여 피도 평균치를 계산하였다.

한편 수중 촬영한 0.5×0.5 m 영구방형구 사진을 빈도 측정을 위해 PC를 이용하여 25개의 0.1×0.1 m 소방형구로 편집하고, 각 종이 나타난 소방형구의 개수 (Fa)를 측정하여 다음과 같이 종별 빈도 (Fi)와 종별 상대빈도 (RFi)를 계산하였다 (Cox, 1996; Brower et al., 1998).

종별 빈도 $F_i = Fa/25$

종별 상대빈도 $RF_i (%) = F_i / \sum F$

(여기서 $\sum F =$ 모든 출현종의 빈도 합계)

피도의 경우와 마찬가지로 상기의 방법을 영구방형구마다 2회 반복하여 빈도 평균치를 계산하였다.

이렇게 얻어진 영구방형구별 상대피도와 상대빈도 평균치를 바탕으로 종별 중요치 (importance value: IV)를 계산하였다 (Cox, 1996; Brower et al., 1998; Lee et al., 2001).

종별 중요치 백분율 $IV_i (%) = (RC_i + RF_i) / 2$

결 과

종조성

사천 조하대의 영구방형구에서 2008년 10월부터 2009년 12월까지 조사된 출현종은 해조류 81종 (녹조 10종, 갈조 21종, 홍조 50종)과 종자식물 1종의 총 82종이었다 (Table 1). 수심별로는 먼저 3 m에서 51종 (녹조 5종, 갈조 18종, 홍조 27종, 종자식물 1종), 5 m에서 39종 (녹조 5종, 갈조 9종, 홍조 25종) 그리고 수심 10 m에서 59종 (녹조 5종, 갈조 14종, 홍조 39종, 종자식물 1종)이 관찰되어, 출현종수는 수심 10 m에서 가장 많고 수심 5 m에서 가장 적었다.

이들 종 가운데 모든 수심에서 출현한 해조류는 녹조류 2종 (구멍갈파래 *Ulva pertusa*, 떡청각 *Codium arabicum* = *Codium adhaerens*), 갈조류 5종 (불레기말 *Colpomenia sinuosa*, 참그물바탕말 *Dictyota dichotoma*, 개그물바탕말 *Dictyota okamurae* = *Dilophus okamurae*, 팽생이모자반 *Sargassum horneri*, 검등모자반 *Sargassum nigrifolium*) 및 홍조류 10종 (개우무 *Pterocladia capillacea* = *Pterocladia capillacea*, 무절산호조류, 붉은까막살 *Prionitis cornea* = *Carpopeltis cornea*, 진두발 *Chondrus ocellatus*, 부챗살 *Ahnfeltiopsis flabelliformis*, 민자루다홍풀 *Dasya sessilis*, 털엇가지풀 *Heterosiphonia pulchra*, 잔금분홍잎 *Acrosorium polyneurum*, 누은분홍잎 *Acrosorium yendoi*, 모로우붉은실 *Polysiphonia morrowii*)의 17종이었다.

출현종수를 월별로 비교하면 2009년 1월에 44종으로 가장 많았고 2008년 11월에 16종으로 가장 적었으나, 출현종수의 월별 변화는 수심에 따라 다소 상이한 양상을 보였다 (Fig.

1). 수심별로 모든 조사기간 동안 출현한 종은 수심 3 m에서 알쭉이모자반 (*Sargassum confusum*), 무절산호조류 및 새우말 (*Phyllospadix iwatensis*), 수심 5 m에서 무절산호조류, 그리고 수심 10 m에서 작은구슬산호말 (*Corallina pilulifera*)이었다. 피도 및 빈도

사천의 영구방형구에서 수경사진방형구법으로 측정한 해조류의 피도 합계를 수심별로 비교하면 다음과 같다 (Fig. 2). 먼저 수심 3 m의 경우 월별 피도 합계는 47.5-113.5%의 범위 (평균 63.5%)로 나타났고, 수심 5 m에서 14.5-89.5% (평균 47.6%)이었으며, 수심 10 m에서는 33.0-66.7%의 범위 (평균 50.9%)로 나타났다. 따라서 영구방형구에서 출현한 해조류의 피도 합계는 수심 3 m에서 다소 높았고 수심 5 m와 10 m에서 대체로 비슷한 경향을 보였다.

출현종 가운데 수심 3 m와 5 m에서는 무절산호조류의 연중 피도가 가장 높게 나타났다. 무절산호조류의 피도 평균치는 수심 3 m에서 43.8% 그리고 수심 5 m에서 39.8%이었다. 그밖에 구멍갈파래가 수심 3 m와 5 m에서 각각 총평균 6.8%와 2.8%로 조사되었다. 그러나 수심 10 m에서 출현한 해조류의 피도 평균치는 붉은까막살 9.5%, 작은구슬산호말 9.5%, 참곱슬이 (*Plocamium telfairiae*) 4.7%, 돌가사리 (*Chondracanthus enellus* = *Gigartina tenella*) 4.7%, 잔금분홍잎 4.4%, 무절산호조류 4.1% 등으로 조사되어 수심 3 m와 5 m의 경우와 달리 비교적 고른 피도 분포를 보였다.

해조류 빈도의 조사결과 역시 피도의 조사결과와 유사한 경향을 보였다. 즉 수심별 빈도 합계는 수심 10 m에서 가장 높고 수심 5 m에서 가장 낮게 조사되었고, 월별 변화에 있어서는 모든 수심에서 대체로 겨울 (12월-2월)에 빈도가 높은 경향을 보였다.

우점종

사천의 영구방형구에서 수경사진방형구법으로 측정한 해조류의 피도와 빈도 조사 결과를 바탕으로 계산한 종별 중요치는 Table 2와 같다. 영구방형구에서 연중 출현한 해조류 가운데 무절산호조류의 중요치가 평균 46.7%로 가장 높았으며, 그밖에 구멍갈파래 (평균 8.1%), 작은구슬산호말 (7.4%), 붉은까막살 (7.3%) 등이 7-8% 수준의 중요치를 보이는 우점종으로 나타났다.

그러나 이들 우점종의 수심별 분포는 다소 상이한 양상을 보였다. 즉 수심 3 m에서는 무절산호조류가 연평균 52.8%의 중요치를 나타내는 우점종이었고, 구멍갈파래 (14.3%), 알쭉이모자반 (7.2%), 새우말 (7.0%), 떡청각 (6.4%) 등이 5% 이상의 연평균 중요치를 보이는 주요종으로 나타났다. 수심 5 m에서도 무절산호조류와 구멍갈파래의 중요치가 각각 78.4%와 9.1%로 나타나서 수심 3 m와 유사한 양상을 보였다. 그러나 수심 10 m에서는 작은구슬산호말의 연평균 중요치가 22.2%로 가장 높았고, 그밖에 붉은까막살 (19.3%), 돌가사리 (10.0%), 무절산호조류 (8.8%), 참곱슬이 (7.8%), 잔금분홍잎 (6.3%) 등이 5% 이상의 연평균 중요치를 보이는 주요종들로 나타나서, 3 m 또는 5 m의 경우와 다소 다른 양상을 보였다.

Table 1. A list of marine algal species observed in permanent quadrats at Sacheon

Species	Depth (m)			Species	Depth (m)		
	3	5	10		3	5	10
Chlorophyta				<i>Corallina officinalis</i>	+		+
<i>Monostroma nitidum</i>		+		<i>Corallina pilulifera</i>	+		+
<i>Ulva pertusa</i>	+	+	+	<i>Marginisporum aberrans</i>	+		+
<i>Umbraulva japonica</i>		+		Melobesioidean algae	+	+	+
<i>Urospora penicilliformis</i>			+	<i>Gloiopeltis tenax</i>	+		+
<i>Cladophora japonica</i>			+	<i>Carpopeltis prolifera</i>		+	+
<i>Cladophora opaca</i>		+		<i>Grateloupia elliptica</i>	+		+
<i>Cladophora sakaii</i>	+			<i>Grateloupia lanceolata</i>	+		+
<i>Bryopsis plumosa</i>	+			<i>Prionitis cornea</i>	+	+	+
<i>Codium arabicum</i>	+	+	+	<i>Tichocarpus crinitus</i>		+	
<i>Codium fragile</i>	+		+	<i>Chondracanthus intermedius</i>		+	
Phaeophyta				<i>Chondracanthus tenellus</i>		+	+
<i>Ectocarpus siliculosus</i>	+			<i>Chondrus ocellatus</i>	+	+	+
<i>Ectocarpus</i> sp.	+			<i>Chondrus pinnulatus</i>		+	+
<i>Nemacystus decipiens</i>	+		+	<i>Mazzaella japonica</i>		+	+
<i>Colpomenia sinuosa</i>	+	+	+	<i>Hypnea charoides</i>			+
<i>Petalonia fascia</i>	+	+		<i>Hypnea japonica</i>			+
<i>Desmarestia viridis</i>			+	<i>Hypnea saidana</i>			+
<i>Undaria pinnatifida</i>	+	+		<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>	+	+	+
<i>Chorda filum</i>		+		<i>Plocamium ovicornis</i>			+
<i>Agarum clathratum</i>		+	+	<i>Plocamium telfairiae</i>		+	+
<i>Ecklonia cava</i>	+			<i>Champia japonica</i>	+		+
<i>Laminaria japonica</i>	+		+	<i>Lomentaria catenata</i>	+		+
<i>Dictyopteris divaricata</i>	+		+	<i>Lomentaria hakodatensis</i>			+
<i>Dictyopteris pacifica</i>	+		+	<i>Rhodymenia intricata</i>			+
<i>Dictyota coriacea</i>	+		+	<i>Rhodymenia pertusa</i>			+
<i>Dictyota dichotoma</i>	+	+	+	<i>Ceramium kondoi</i>	+		
<i>Dictyota divaricata</i>	+			<i>Herpochondria elegans</i>		+	
<i>Dictyota okamurae</i>	+	+	+	<i>Dasya sessilis</i>	+	+	+
<i>Sargassum confusum</i>	+		+	<i>Heterosiphonia japonica</i>		+	+
<i>Sargassum horneri</i>	+	+	+	<i>Heterosiphonia pulchra</i>	+	+	+
<i>Sargassum nigrifolium</i>	+	+	+	<i>Acrosorium polyneurum</i>	+	+	+
<i>Sargassum yezoense</i>	+		+	<i>Acrosorium yendoi</i>	+	+	+
Rhodophyta				<i>Delesseria serrulata</i>	+		
<i>Erythrotrichia carnea</i>		+	+	<i>Phycodrys fimbriata</i>			+
<i>Bangia atropurpurea</i>	+			<i>Chondria crassicaulis</i>		+	+
<i>Porphyra tenera</i>	+	+		<i>Chondrophyucus</i> sp.	+		+
<i>Gelidium amansii</i>	+		+	<i>Laurencia okamurae</i>	+		
<i>Gelidium divaricatum</i>		+		<i>Polysiphonia morrowii</i>	+	+	+
<i>Gelidium pacificum</i>			+	<i>Symphyclocladia latiuscula</i>	+		+
<i>Pterocladia capillacea</i>	+	+	+	<i>Symphyclocladia linearis</i>	+		
<i>Amphiroa anceps</i>		+	+	Spermatophyta			
<i>Amphiroa beauvoisii</i>		+		<i>Phyllospadix iwatensis</i>	+		+

사천의 영구방형구에서 출현한 해조류 가운데 중요치가 높게 나타난 4종의 월별 중요치를 수심별로 비교하면 다음과 같다 (Fig. 3). 먼저 사천의 영구방형구에서 중요치가 평균 46.7%로 가장 높게 나타난 무절산호조류는 대체로 수심 3 m 또는 5 m에서 연중 높은 중요치를 보였으나 겨울 (1월과 2월)에 중요치가 낮은 특징을 보였고, 수심 10 m에서는 연중 낮게 나타나다가 2009년 10월 이후에 중요치가 다소 증가하는 경향을 보였다. 구멍갈파래는 수심 3 m와 5 m에서 1월부터 6월까지 13-48%의 중요치를 보였지만 다른 조사시기에는 중요치가 매우 낮았고, 특히 수심 10 m에서는 4% 미만으로 낮았다. 작은구슬산호말은 무절산호조류의 경우와 달리 수심 10 m에서만 연중 11-35% 범위의 중요치를 보였다. 한편 7.3%의

평균 중요치를 보인 붉은까막살은 주로 수심 10 m에서 중요치가 높았는데, 2008년 10월, 2009년 1월과 2월 그리고 8월에 30% 이상의 중요치를 보였지만 뚜렷한 계절적 특징을 찾을 수 없었다.

고 찰

다양한 집단의 해양생물을 대상으로 생물군집의 분포적 특성을 파악하는 기법으로 일각에서는 위성영상 (Holden and LeDrew, 2002; Kim et al., 2007) 또는 항공사진 (Everitt et al., 2010)을 이용하기도 하지만, 해조류를 포함하는 해양생물군집의 생태조사에서는 수중카메라를 이용하는 기법이 보편적으로 사용되고 있다 (Carney et al., 1999; Tkachenko, 2005;

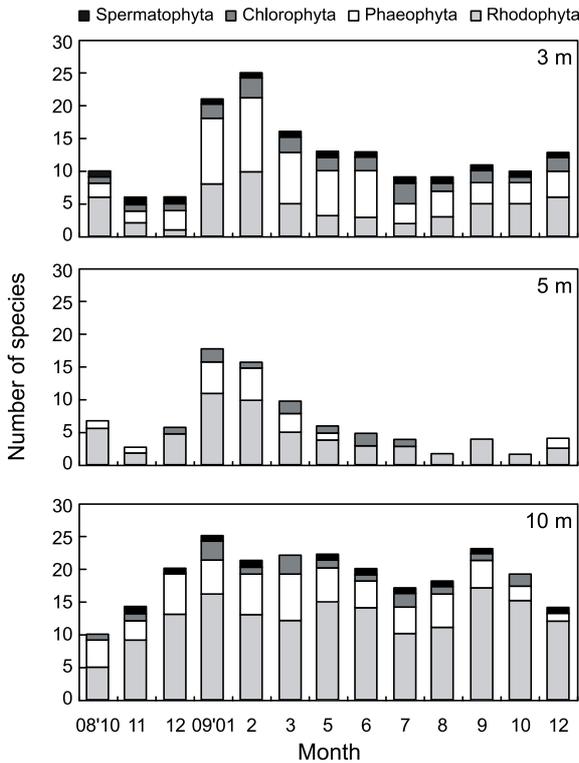


Fig. 1. Monthly variation of the number of species observed in permanent quadrats at Sacheon.

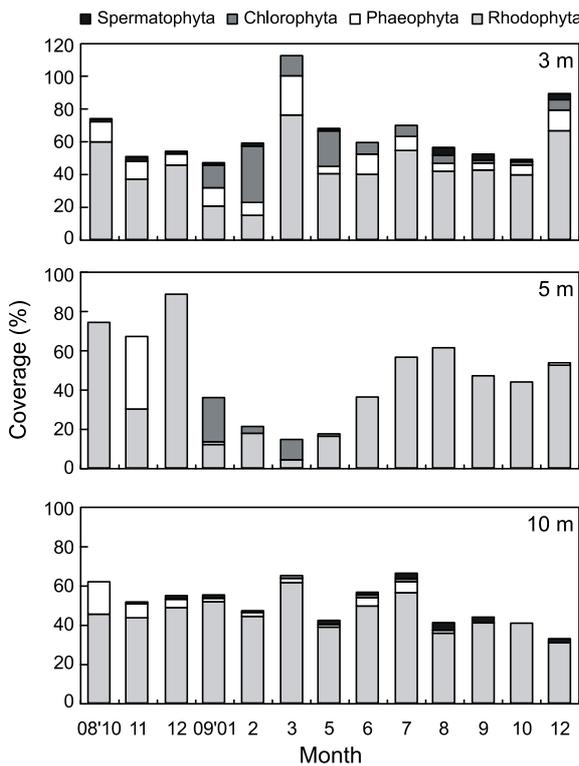


Fig. 2. Monthly variation of the sum of coverage observed in permanent quadrats at Sacheon.

Beuchel et al., 2006; Alvaro et al., 2007; Celliers et al., 2007; Olbers et al., 2009). 나아가서 잘피류 (Ardizzone et al., 2006; Borg et al., 2006; McDonald et al., 2006; Kutser et al., 2007; Lefebvre et al., 2009)나 어류 (Spampinato et al., 2008)는 물론, 점액성 응집체 (Precali et al., 2005)의 조사에서도 수중카메라 또는 수중비디오카메라로 촬영된 사진 또는 영상을 이용하는 기법의 유용성이 입증되고 있다.

고착성 해조류의 군집조사에서 카메라로 촬영한 사진이나 영상을 바탕으로 출현종의 피도를 측정하는 사진방형구법 (photo quadrat method)은 1970년대 후반부터 비롯되었다 (Littler et al., 1979). 이와 관련하여 Foster et al. (1991)은 사진방형구법과 점방형구법 (point quadrat method)을 비교하여 생물의 피도를 측정하는데 있어서 후자가 보다 정확한 결과를 얻는다고 보고하였다. 그럼에도 불구하고 현장에서 소요되는 조사 시간을 상당히 절약할 수 있는 사진방형구법은 조간대와 조하대의 다양한 서식지를 대상으로 폭넓게 이용되고 있다 (Carney et al., 1999; Alvaro et al., 2007; Celliers et al., 2007).

그런데 초기에 사용한 고전적인 사진방형구법은 플래시가 장착된 카메라로 슬라이드 필름 (경우에 따라서는 적외선 슬라이드 필름을 병행)을 이용하여 방형구 내의 식생을 촬영한 다음, 약 2 cm 간격으로 격자 모양의 빨간 점이 표시된 21×28 cm 종이에 투광기로 슬라이드를 투영하는 방법이다 (Littler, 1980; Littler and Littler, 1985). 여기서 연구대상 종의 피도는 각 종이 닿는 점의 개수를 방형구 전체에 해당하는 점의 개수로 나눈 값이다.

그렇지만 기술이 발전되면서 최근 고화소의 디지털 이미지를 담은 디지털 카메라가 속속 개발되고 있을 뿐만 아니라, 고해상도의 PC 모니터가 널리 보급되고 있는 실정이다. 따라서 해조류 생태 조사에 있어서 굳이 슬라이드 필름을 이용하는 고전적인 사진방형구법을 견지할 이유가 없게 되었고, 시대의 흐름에 걸맞게 간편한 방법으로 해조류 분포를 조사하고자 수정사진방형구법을 개발하게 되었다.

그럼에도 불구하고 이 연구에서 사용한 수정사진방형구법은 PC 모니터 상에서 미세조류 (microalgae)나 사상조류 (filamentous algae)를 동정하는데 문제점을 안고 있으며, 한편으로는 무절산호조류와 같이 외부 형태가 단조롭고 비슷한 서로 다른 종들을 식별하기가 쉽지 않다는 단점이 있다. 이렇게 종 동정이 어려울 것으로 예상되는 조류는 주변에서 소량 채취하여 실험실에서 동정함으로써 (Littler and Littler, 1985; Foster et al., 1991) 동정의 정확성을 기하는데 보탬이 될 것으로 본다. 다른 한편으로 눈으로 직접 관찰하고 (Pech et al., 2004; Parravicini et al., 2009), 그 결과를 방수 녹음기로 기록하는 방법 (Littler and Littler, 1985)도 다소나마 문제 해결에 도움이 될 수 있을 것이다.

사진방형구법보다 진전된 분석 기법으로 PC의 화상처리 프로그램을 이용하는 디지털 화상분석 (digital image analysis)을 들 수 있고 (Chung et al., 1997; Choi, 2001), 이 기법은 최근 다양한 생물집단을 대상으로 폭넓게 활용되고 있다 (Pech et al., 2004; Beuchel et al., 2006; Everitt et al., 2010). 그러나

Table 2. The importance value of marine algal species observed in permanent quadrats at Sacheon

Species	Depth (m)			Mean
	3	5	10	
Melobesioidean algae	52.8	78.4	8.8	46.7
<i>Ulva pertusa</i>	14.3	9.1	0.8	8.1
<i>Corallina pilulifera</i>	+	-	22.2	7.4
<i>Prionitis cornea</i>	+	2.6	19.3	7.3
<i>Chondracanthus tenellus</i>	-	0.1	10.0	3.4
<i>Acrosorium polyneurum</i>	2.2	1.0	6.3	3.2
<i>Phyllospadix iwatensis</i>	7.0	-	2.7	3.2
<i>Plocamium telfairiae</i>	-	+	7.8	2.6
<i>Dictyota dichotoma</i>	2.9	3.4	1.0	2.4
<i>Sargassum confusum</i>	7.2	-	0.1	2.4
<i>Codium arabicum</i>	6.4	0.3	+	2.2
<i>Chondrus ocellatus</i>	+	0.3	4.7	1.7
<i>Polysiphonia morrowii</i>	0.6	0.8	1.8	1.1
<i>Laminaria japonica</i>	0.1	-	3.2	1.1
<i>Lomentaria catenata</i>	+	-	3.2	1.1
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	-	3.2	-	1.1

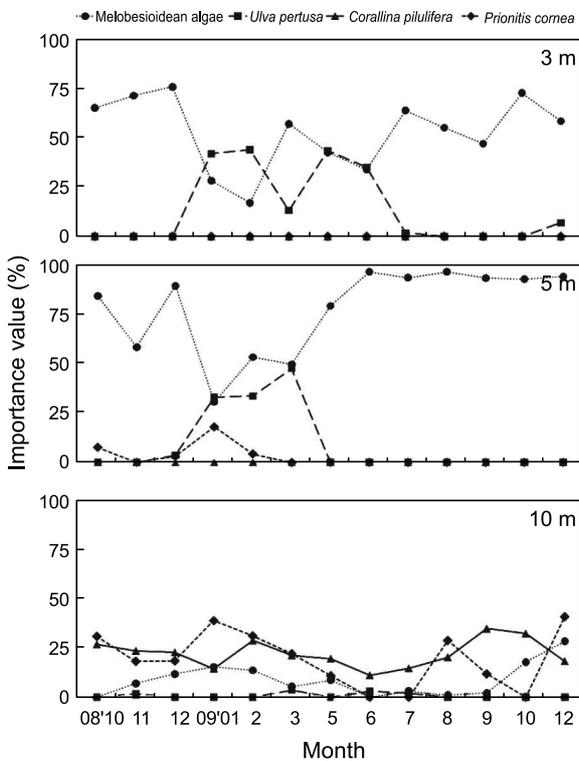


Fig. 3. Monthly variation of the importance value of four dominant species in permanent quadrats at Sacheon.

디지털 화상분석은 소프트웨어 구입에 적지 않은 비용이 따르고 조작하는 데에도 상당한 시간이 소요되므로, 비용 편익(cost-benefit) 측면과 편의성 측면에서 볼 때 이 연구에서 사용한 수정사진방형구법을 능가한다고 보기 어려운 실정이다.

한편 수정사진방형구법의 효과를 증진시키는 방법으로 방형구의 크기를 조정하는 방법도 고려해 볼 수 있다. 즉 35 mm 필름의 이미지 크기 36×24 mm의 가로세로비는 3:2이고,

일반 카메라 또는 디지털 카메라의 이미지 크기는 3:2 또는 4:3이다. 한편 PC 모니터의 화면 비율은 5:4 또는 4:3이다. 따라서 국내의 해조류 생태 연구에서 거의 대부분 사용하는 정4각형의 50×50 cm 방형구 대신에 사진의 이미지 크기와 비슷한 비율인 직4각형의 방형구 (예를 들면 30×50 cm: Littler and Littler, 1985; Foster et al., 1991; Metaxas et al., 1994; Sapper and Murray, 2003)로 촬영한 화상 자료를 사용한다면 동일한 조건에서도 분석의 효과를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

수정사진방형구법을 이용하여 사천 조하대의 영구방형구에서 조사된 총 81종의 해조류 가운데 21%에 해당하는 17종 (녹조 2종, 갈조 5종, 홍조 10종)이 조사된 모든 수심에서 출현하는 것으로 나타났다. 이들 대부분은 동해안의 50개 정점에서 출현한 해조류 가운데 출현빈도 50% 이상을 차지하는 보편적 출현종으로 확인되었다 (Lee and Kim, 1999). 그러나 갈조 검등모자반과 홍조 민자루다홍풀의 2종은 동해안 해조류 가운데 각각 18%와 30%의 출현빈도를 차지하는 종이므로 (Lee and Kim, 1999), 동해안에서는 다소 제한적인 분포를 보이고 있는 종들로 간주된다 (Lee and Kang, 2002).

동해안의 조하대에서 수심별로 해조류 출현종을 비교한 연구에서 먼저 Kim et al. (2010)은 대진의 수심 5 m에서 59종, 10 m에서 47종 그리고 15 m에서 38종이 출현하여 수심이 깊어질수록 출현종수가 감소한다고 보고하였고, Choi et al. (2006) 역시 울진 연안 조하대를 대상으로 수행한 연구에서 수심 3 m에서 24종, 6 m에서 21종, 9 m에서 17종 그리고 12 m에서 12종이 출현하여 수심이 깊어질수록 차츰 감소하는 추세를 보인다고 밝힌 바 있다.

그런데 이번 조사를 통하여 사천의 조하대에 설치한 영구방형구에서 출현한 종은 수심 3 m에서 51종, 5 m에서 39종 그리고 10 m에서 59종으로 수심 10 m에서 출현종수가 가장 많고 수심 5 m에서 가장 적었다. 월별 출현종수의 평균치를 수심별로 비교해 보더라도 수심 3 m에서 평균 4.3종, 5 m에서 2.2종 그리고 10 m에서 5.0종으로 수심 10 m의 평균 출현종수가 가

장 많음을 알 수 있다. 수심이 깊어질수록 해조류의 종다양성이 감소하는 일반적인 추세 (Choi et al., 2006; Kim et al., 2010)와 달리 수심이 얇은 정점에서 수심이 깊은 정점보다 출현종이 오히려 적게 나타난 이유는 조사지의 조하대 상부나 중부에 번무하는 무절산호조류가 다양한 해조류의 착생을 저해한 때문으로 추정된다. 무절산호조류의 우점적 생육이 서식지의 해조류 다양성을 감소시키는 결과는 제주도 (Chung et al., 1998) 뿐만 아니라 울릉도와 독도 (Kim and Kim, 2000; Kim et al., 2004)에서도 확인된 바 있다.

수정사진방형구법을 이용하여 사천 조하대의 영구방형구에서 조사된 피도와 빈도의 수심별 및 월별 변화 추세를 대체로 비슷한 양상을 보이는 것으로 나타났다. 실제로 동해안에서 수행된 해조류 생태 연구에서도 피도와 빈도를 각각 측정할 결과는 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다 (Lee, 1991; Lee et al., 2001). 이와 관련하여 Littler et al. (1979)은 대형 해조류의 현존량을 측정하는 가장 적합한 항목이 피도 백분율이라고 강조한 바 있다.

사천의 조하대에서 조사된 조하대 해조군집의 구성양식을 인근 연안에서 조사 보고된 군집구조 자료들과 비교해 볼 때 거리보다 오히려 조사시기의 차이에서 상이한 양상을 보이는 것으로 밝혀졌다. 이를테면 사천에서 북서 방향으로 50여 km 위치한 봉포리 죽도 (38°12'N, 128°34'E)에서 조사된 조하대 해조군집의 현존량으로 본 우점종들은 애기다시마 (*Laminaria religiosa*), 비틀대모자반 (*Sargassum sagamianum*), 지층이 (*Sargassum thunbergii*), 파배기모자반 (*Sargassum siliquastrum*), 애기들가사리 (*Chondracanthus intermedia* = *Gigartina intermedia*), 부챗살 등이었고 (Nam, 1986), 사천에서 60여 km 북서 방향에 위치한 오호리 죽도 (38°20'N, 128°32'E)에서 조사된 조하대 해조군집의 현존량으로 본 우점종들은 대형 갈조류들 (미역 *Undaria pinnatifida*, 쇠미역사촌 *Costaria costata*, 알송이모자반, 팽생이모자반)이었다 (Koh, 1983). 그밖에 남쪽의 안인진 (37°44'N, 129°00'E)에서 1981-1982년에 걸쳐 조사된 조하대 해조군집 (Kim et al., 1983)과 갈남 (37°17'N, 129°20'E)에서 1985-1986년에 조사된 군집 (Chung et al., 1991)의 우점종 구성양식도 이번 조사결과와 차이를 보이는 것으로 나타났다.

1980년대에 수행된 상기 조사들에서 밝혀진 해조류 우점종 가운데 알송이모자반, 팽생이모자반, 부챗살 등 몇몇 해조류는 이번 조사에서도 비교적 보편적으로 출현하거나 중요치가 높게 나타났지만, 특히 모자반류 (*Sargassum* spp.) 등의 대형 갈조류를 중심으로 대부분의 종류들이 전혀 나타나지 않거나 낮은 중요치를 보였을 뿐이다. 상기 조사들이 수행된 후 20년 이상이 경과한 시점에 이번 연구가 이루어졌음을 감안할 때, 그간 동해안 중부의 조하대에서는 해조군집의 우점종 구성양식이 변모한 것으로 판단된다. 이와 같은 현상은 수온을 포함하는 다양한 환경요인의 변화에 기인하는 것으로 추정된다.

그러나 사천에서 남동 방향으로 60여 km 위치한 삼척시 대진 (37°21'N, 129°15'E)의 조하대 해조군집은 떡청각, 모자반 무리, 작은구슬산호말, 진두발, 잔금분홍잎 등이 계절에 따라 우점하는 것으로 나타났는데 (Shin et al., 2008a, b), 이들 대부

분이 사천 조하대에서도 높은 중요치를 보이는 종들이다. 나아가서 경상북도 울진군의 6개 지역 (나곡, 죽변, 골장, 곡해, 봉수, 양정)에서 조사된 조하대 저서 해조류의 군집구조 (Choi et al., 2006) 역시 이번 결과와 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 급세기 들어 동해안의 다양한 정점들에서 조사된 조하대 해조류의 군집구조가 지리적 차이에도 불구하고 우점종 구성양식에 있어서 크게 다르지 않음은 흥미로운 사실이 아닐 수 없다. 이러한 경향은 앞서 지적한 바와 같이 1980년대에 북쪽의 오호리 죽도 (Koh, 1983)와 봉포리 죽도 (Nam, 1986), 그리고 남쪽의 안인진 (Kim et al., 1983)과 갈남 (Chung et al., 1991)에 이르는 넓은 해역에 걸쳐 대형 갈조류들이 공통적으로 우점하는 현상과 맥을 같이 하는 것으로 판단된다.

수정사진방형구법을 이용하여 사천의 영구방형구에서 조사된 해조군집은 조하대 상부와 중부에서 무절산호조류 그리고 하부에서 작은구슬산호말이 우점하는 것으로 밝혀졌다. 이들 산호말류 (coralline algae)는 동해안의 조간대 (Ahn et al., 2009) 뿐만 아니라 동해안의 3개 원자력발전소 방파제 (Ahn and Kim, 2009)에서도 단위면적당 현존량 구성비와 중요치 모두 높게 나타나는 것으로 확인되고 있다.

산호말류는 다른 해조류 기능군과 달리 초식동물에 대한 저항성이 크고 염체의 거친 정도 (toughness)가 높은 특징을 갖고 있는 탓에 군집의 천이 단계에서 전형적인 후기 천이형 (late successional form)으로 간주되고 있다 (Borowitzka et al., 1978; Littler and Littler, 1980). 그런데 다양한 형태의 바다숲이 급격히 줄어들거나 소멸되는 갯녹음 또는 백화현상의 중심에 이들 산호말류가 놓이고 있다 (Chung et al., 1998; Kim et al., 2007). 다양한 해조류가 사라지면서 이들을 먹이로 삼는 성게나 전복 등의 자원 감소는 물론이고 바다숲을 서식지나 산란장으로 이용하는 수중생물의 자원이 감소하게 되므로 (Sohn et al., 2002), 향후 동해안 산호말류의 독특한 정성·정량적 측면에 관한 다각적이고 면밀한 조사가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

결론적으로 이 연구에서 사용된 수정사진방형구법은 몇 가지 제약에도 불구하고 수중연구의 조사시간을 줄이면서 조하대 해조군집을 조사하는 효과적인 방법으로 사료된다. 전통적인 연구방법에 비해 간편하고 보다 정밀하게 해조류 군집의 구조를 파악할 수 있으므로 조하대 해조류 군집에 관한 정보 축적은 물론, 바다숲 조성에 필요한 귀중한 정보 제공에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

이 연구는 국립수산물과학원 (항산철을 이용한 시비제가 해양에 미치는 영향 및 효과 분석) 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 수중 사진의 촬영에 협조해 준 21C 해양개발 전찬길 대표 및 직원 여러분과 자료 정리를 도와준 충북대학교 생물학과 연수영 군에게 사의를 표합니다.

참고문헌

Ahn JK, Kim SJ and Kim YH. 2009. Distributional patterns

- of coralline algae on the east coast of Korea. Bull Nat Sci 23, 71-79.
- Ahn JK and Kim YH. 2009. Spatial and temporal patterns of coralline algae around three nuclear power plants on the east coast of Korea. Korean J Environ Biol 27, 114-123.
- Alvaro N, Wallenstein F, Neto A, Nogueira E, Ferreira J, Santos C and Amaral A. 2007. The use of digital photography for the definition of coastal biotopes in Azores. Hydrobiologia 596, 143-152.
- Ardizzone G, Belluscio A and Maiorano L. 2006. Long-term change in the structure of a *Posidonia oceanica* landscape and its reference for a monitoring plan. Mar Ecol 27, 299-309.
- Beuchel F, Gulliksen B and Carroll ML. 2006. Long-term patterns of rocky bottom macrobenthic community structure in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard) in relation to climate variability (1980-2003). J Mar Syst 63, 35-48.
- 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 1. Floristic composition and periodicity of a Sokcho rocky shore. Korean J Phycol 1, 107-116.
- Borg JA, Micallef MA and Schembri PJ. 2006. Spatio-temporal variation in the structure of a deep water *Posidonia oceanica* meadow assessed using non-destructive techniques. Mar Ecol 27, 320-327.
- Borowitzka MA, Larkum AWD and Borowitzka LJ. 1978. A preliminary study of algal turf communities of a shallow coral reef lagoon using an artificial substratum. Aquat Bot 5, 365-381.
- Brower JE, Zar JH and von Ende CN. 1998. Field and Laboratory Methods for General Ecology, 4th ed. WCB/McGraw-Hill, Boston, U.S.A., 90-96.
- Carney D, Oliver JS and Armstrong C. 1999. Sedimentation and composition of wall communities in Alaskan fjords. Polar Biol 22, 38-49.
- Celliers L, Mann BQ, Macdonald AHH and Schleyer MH. 2007. A benthic survey of the rocky reefs off Pondoland, South Africa. Afr J Mar Sci 29, 65-77.
- Choi CG. 2001. Marine communities around the experimental artificial reefs. Ph.D. thesis, Pukyong National University, 26-28.
- 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.
- 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 Seogwipo 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.
- Chung H, Oh YS, Je JG and Lee SK. 1997. An application of underwater photogrammetry using image analysis for estimation of macroalgal standing stocks. Underwater Sci Tech 1, 15-24.
- Cotton AD. 1906. Marine algae from Corea. Bull Misc Inform Royal Bot Gard Kew 366-373.
- Cox GW. 1996. Laboratory Manual of General Ecology, 7th ed. Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, U.S.A., 88-97.
- Everitt JH, Yang C, Judd FW and Summy KR. 2010. Use of archive aerial photography for monitoring black mangrove populations. J Coast Res 26, 649-653.
- Foster MS, Dean TA and Deysler LE. 1985. Subtidal techniques. In: Handbook of Phycological Methods; Ecological Field Methods: Macroalgae. Littler MM and Littler DS, eds. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 199-231.
- Foster MS, Harrold C and Hardin DD. 1991. Point vs. photo quadrat estimates of the cover of sessile marine organisms. J Exp Mar Biol Ecol 146, 193-203.
- Graham LE, Graham JM and Wilcox LW. 2009. Algae, 2nd ed. Benjamin Cummings, San Francisco, U.S.A., 94-121.
- Grubb VM. 1932. Marine algae of Korea and China with notes on the distribution of Chinese marine algae. J Bot 70, 213-219, 245-251.
- Holden H and LeDrew E. 2002. Hyperspectral linear mixing based on in situ measurements in a coral reef environment. Int Geosci Remote Sens Symp 1, 249-251.
- Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. Bull Pusan Fish Coll 7, 1-125.
- Kang JW. 1968. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea, Vol. 8, Marine Algae. Ministry of Education, Seoul, Korea, 371-372.
- Kim HC, Yoo S and Oh IS. 2007. Relationship between phytoplankton bloom and wind stress in the sub-polar frontal area of the Japan/East Sea. J Mar Sys 67, 205-216.
- Kim HS, Lee IK, Koh CH, Kim IH, Suh YB and Sung N. 1983. Studies on the marine benthic communities in inter- and subtidal zones I. Analysis of benthic

- community structures at Aninjin, eastern coast of Korea. Proc Coll Natur Sci SNU 8, 71-108.
- Kim MK and Kim KT. 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 15, 119-124.
- Kim MK, Shin JK and Cha JH. 2004. Variation of species composition of benthic algae and whitening in the coast of Dokdo Island during summer. Algae 19, 69-78.
- 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.
- Kim YD, Hong JP, Song HI, Jeon CY, Kim SK, Son YS, Han HK, Kim DS, Kim JH, Kim MR, Gong YG and Kim DK. 2007. Growth and maturation of *Laminaria japonica* transplanted for seaforest construction on barren ground. J Kor Fish Soc 40, 323-331.
- Kim YH, Ahn JK, Lee JI and Eum HM. 2004. Effects of heated effluents on the intertidal macroalgal community near Uljin, the east coast of Korea. Algae 19, 257-270.
- Kim YH and Lee JH. 1981. Intertidal marine algal community and species composition of Wolseong area, East Coast of Korea. Korean J Bot 24, 145-158.
- Koh CH. 1983. Community structure and productivity of phytobenthos in Juckdo (eastern coast of Korea) II. Seasonal changes of algal vegetation in relation to annual growth of larger brown algae. Korean J Bot 26, 181-190.
- Koh CH, Oh SH, Sung N, Ahn I and Kang YC. 1989. Algal zonation and seasonality in subtidal area of a wave-exposed coast at Ohori, east coast of Korea. Korean J Phycol 4, 171-182.
- Koh CH, Park C, Yoo SJ, Lee WJ, Lee TW, Zhang CI, Choi JK, Hong JS and Huh HT. 1997. Marine Biology. Seoul National University Press, Seoul, Korea, 30-32.
- Koh CH and Sung N. 1983. Community structure and productivity of phytobenthos in Juckdo (eastern coast of Korea) I. Benthic marine algal vegetation and its environment. Korean J Bot 26, 119-130.
- Kutser T, Vahtmae E, Roelfsema CM and Metsamaa L. 2007. Photo-library method for mapping seagrass biomass. Estuar Coast Shelf Sci 75, 559-563.
- Lee IK and Kang JW. 1986. A check list of marine algae in Korea. Korean J Phycol 1, 311-325.
- 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 JW. 1991. Community structure and geographical distribution of intertidal benthic algae in the east coast of Korea. Ph.D. thesis, Seoul National University, 72-75.
- Lee JW, Kim YH and Lee HB. 2001. The community structure of intertidal marine benthic algae in the east coast of Korea II. Sokcho. Algae 16, 113-118.
- 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 Y. 2008. Marine Algae of Jeju. Academy Book Publ., Seoul, Korea, 1-477.
- Lee Y and Kang S. 2002. A Catalogue of the Seaweeds in Korea. Cheju National University Press, Cheju, Korea, 1-662.
- Lefebvre A, Thompson CEL, Collins KJ and Amos CL. 2009. Use of a high-resolution profiling sonar and a towed video camera to map a *Zostera marina* bed, Solent, UK. Estuar Coast Shelf Sci 82, 323-334.
- Littler MM. 1980. Southern California rocky intertidal ecosystems: methods, community structure and variability. In: The Shore Environment, Vol. 2: Ecosystems. Price JH, Irvine DEG and Farnham WF, eds. Academic Press, London, U.K., 565-608.
- Littler MM and Littler DS. 1980. The evolution of thallus form and survival strategies in benthic macroalgae: Field and laboratory tests of a functional model. Amer Natur 116, 25-44.
- Littler MM and Littler DS. 1985. Nondestructive sampling. In: Handbook of Phycological Methods; Ecological Field Methods: Macroalgae. Littler MM and Littler DS, eds. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 161-175.
- Littler MM, Murray SN and Arnold KE. 1979. Seasonal variations in net photosynthetic performance and cover of intertidal macrophytes. Aquat Bot 7, 35-46.
- McDonald JI, Coupland GT and Kendrick GA. 2006. Underwater video as a monitoring tool to detect change in seagrass cover. J Environ Manag 80, 148-155.
- Metaxas A, Hunt HL and Scheibling RE. 1994. Spatial and temporal variability of macrobenthic communities in tidepools on a rocky shore in Nova Scotia, Canada. Mar Ecol Prog Ser 105, 89-103.

- Nam KW. 1986. On the marine benthic algal community of Chuckdo in eastern coast of Korea. Korean J Phycol 1, 185-202.
- Okamura K. 1915a. On the marine algae of the east coast of Chosen I. Bot Mag Tokyo 29, 28-29.
- Okamura K. 1915b. On the marine algae of the east coast of Chosen II. Bot Mag Tokyo 29, 205-207.
- Okamura K. 1917. On the marine algae of the east coast of Chosen III. Bot Mag Tokyo 31, 76-78.
- Olbers JM, Celliers L and Schleyer MH. 2009. Zonation of benthic communities on the subtropical Aliwal shoal, Durban, KwaZulu-Natal, South Africa. Afr Zool 44, 8-23.
- Parravicini V, Morri C, Ciribilli G, Montefalcone M, Albertelli G and Bianchi CN. 2009. Size matters more than method: visual quadrats vs photography in measuring human impact on Mediterranean rocky reef communities. Estuar Coast Shelf Sci 81, 359-367.
- Pech D, Condal AR, Bourget E and Ardisson PL. 2004. Abundance estimation of rocky shore invertebrates at small spatial scale by high-resolution digital photography and digital image analysis. J Exp Mar Biol Ecol 299, 185-199.
- Precali R, Giani M, Marini M, Grilli F, Ferrari CR, Pecar O and Paschini E. 2005. Mucilaginous aggregates in the northern Adriatic in the period 1999-2002: Typology and distribution. Sci Total Environ 353, 10-23.
- Sapper SA and Murray SN. 2003. Variation in structure of the subcanopy assemblage associated with southern California populations of the intertidal rockweed *Silvetia compressa* (Fucales). Pac Sci 57, 433-462.
- 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 coasts: Daejin, Gangwondo. Algae 23, 327-334.
- Shin JD, Ahn JK and Kim YH. 2011. Structure of the subtidal marine plant community on the east coast of Korea. Kor J Fish Aquat Sci 44, 85-94.
- Sohn CH, Kim HG and Han HS. 2002. To marine forest in barren ground. Cheongmungak Publ, Seoul, Korea, 4-152.
- Spampinato C, Chen-Burger YH, Nadarajan G and Fisher RB. 2008. Detecting, tracking and counting fish in low quality unconstrained underwater videos. 3rd Int Conf Comp Vision Theory Appl Proc 2, 514-519.
- Tkachenko KS. 2005. An evaluation of the analysis system of video transects used to sample subtidal epibiota. J Exp Mar Biol Ecol 318, 1-9.
- Yoo JS. 2003. Structural characteristics of benthic algal community in the subtidal zone of Yeongil inner and outer bay. Algae 18, 365-369.

2011년 2월 28일 접수

2011년 6월 7일 수정

2011년 6월 14일 수리