

한국 통영 연안의 계절적 해조상 및 군집구조 변화

박미선 · 유현일 · 허진석¹ · 김영대 · 최한길^{1*}

국립수산과학원 동해수산연구소,

¹원광대학교 생명과학부/기초자연과학연구소

Seasonal Variation in the Marine Algal Flora and Community Structure along the Tongyeong Coast, Korea

Mi Seon Park, Hyun Il Yoo, Jin Suk Heo, Young Dae Kim and Han Gil Choi^{1*}

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

¹Faculty of Biological Science, Wonkwang University, Iksan, Jeonbuk 570-749, Korea

Marine algal flora and community structure were examined at four sites at Tongyeong, Korea, from February to December 2009. Eighty-two algal species were identified, including 10 green, 25 brown, and 47 red algae. During the study period, the number of species was highest at the Dukpo (61 species) site followed by the Gajodo (60 species), Yeo (58 species), and Chilchundo (53 species) sites. Seaweed biomass ranged from 578.11 to 678.26 g, with the maximum and minimum at Chilchundo and Yeo, respectively. Dominant species in term of biomass were *Sargassum thunbergii* at Yeo, Dukpo, and Gajodo and *Gelidium amansii* at Chilchundo. The vertical distribution from the high to low intertidal zone was *Sargassum thunbergii* and *Chondria crassicaulis*; *Sargassum thunbergii* and *Ulva linza*; *Ulva pertusa*, *Sargassum fulvellum*, and *Gelidium amansii*. Two groups clearly segregated in a cluster analysis, a Yeo/Dukpo group (group A) and a Gajodo/Chilchundo (B), indicating relatively strong differences in similarity. The seaweed community structure of group A was characterized by higher biomass and higher species richness of brown algae than were observed in group B. Additionally, the biomass ratio and the species richness of green algae was lower in group A. These differences in seaweed community structure may have been resulted from the effects of cold effluents.

Key words: Seaweed, Flora, Community, Structure, Tongyeong

서 론

해조류는 해양생태계에서 일차생산자로써 어·패류와 갑각류의 먹이와 은신처 및 산란장으로써 중요한 생태학적 역할을 할 뿐만 아니라, 부착 동·식물에게 착생기질로 이용되므로 생물 다양성 증대에 기여한다(Lindstrom, 2009). 해조류 군집은 수온, 염분 및 광주기 등 다양한 무생물적 환경의 영향을 받으며 (Lobban and Harrison, 1997), 부영양화, 퇴적물의 증가 등 인간 활동에 의한 환경변화에 빠르게 반응한다(Tribollet and Vroom, 2007). 일반적으로 해조류는 부영양화를 포함한 오염이나 교란 해역에서 종다양성이 감소되고 군집구조가 단순화되는 것으로 알려져 있다(Díez et al., 1999). 이러한 특성 때문에 부착생물인 해조류의 종조성 및 군집구조의 변화는 연안 생태계에서 환경상태 변화를 모니터링하는 생물학적 지시자(biological indicator)로 사용된다(Wells et al., 2007).

*Corresponding author: hgchoi@wku.ac.kr

한국 남해안의 해조류에 대한 연구는 Kang (1966)의 “한국 산 해조류의 지리적 분포”를 시작으로 해조상(Song et al., 1970; Kang and Lee, 1979; Oh et al., 2002; Choi 2008a), 생물량 (Choi 2008a; Kim et al., 2008)과 수직분포(Hwang et al., 1997; Kwak and Huh, 2009)에 관한 많은 연구가 수행되었다. 통영이 위치한 남해안은 해안선의 굴곡이 심하고 크고 작은 섬들로 구성되어 있을 뿐만 아니라 해류, 수온, 염분, 수심, 영양염 및 탁도 등이 다양하여(Kang, 1966; Choi, 1992), 해조류 종조성은 지역 간 차이를 보인다고 하였다(Sohn, 1987). 그러나, 지금까지 통영인근에서 이루어진 해조류 군집에 대한 선행 연구는 주로 여름철에 1회 수행된 것으로서 이 곳에서의 계절별 출현종수와 생물량에 대한 자료가 부족한 실정이다(Song et al., 1970; Oh et al., 2002; Choi, 2008a).

해조류의 분포 및 군집구조는 수온의 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있다(Lüning, 1980; Lobban and Harrison, 1997; Kordas et al., 2011). 운송의 편리를 위해서 액화된 LNG는 해수를 이용하여 다시 기화시키는 과정에서 취수구를 포함한 인근

Table 1. The number of seaweed species collected at the four study sites in Tongyeong in south-eastern coastal water of Korea. (Wi, winter; Sp, spring; Su, summer; Au, autumn; To, total)

Species	Yepo					Dukpo					Gajodo					Chilchundo				
	Wi	Sp	Su	Au	To	Wi	Sp	Su	Au	To	Wi	Sp	Su	Au	To	Wi	Sp	Su	Au	To
Chlorophyta	4	3	4	4	6	4	5	5	6	8	8	3	4	6	8	1	2	6	2	6
Phaeophyta	11	9	8	10	18	11	10	8	6	21	11	12	8	10	20	9	8	3	4	11
Rhodophyta	27	21	19	20	34	22	19	20	19	32	19	21	18	19	32	22	16	18	21	36
Total	42	33	31	34	58	37	34	33	31	61	38	35	30	35	60	32	26	27	27	53

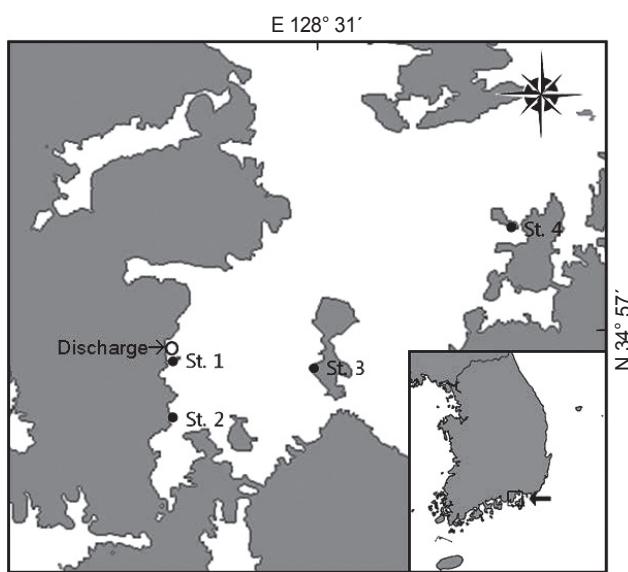


Fig. 1. The location of study sites in Tongyeong, Korea. (St. 1, Yepo; St. 2, Dukpo; St. 3, Gajodo; St. 4, Chilchundo).

해역 해수의 수온보다 낮은 냉배수가 배출된다(Kim and Kim, 2001). 통영에 위치한 한국가스공사 통영 LNG생산기지에서 지속적으로 배출되는 냉배수가 식물성플랑크톤의 군집구조에 영향을 미치는 것으로 알려져 있어(Kim, 2011), 해조류 종조성과 생물량의 변화가 예상되는데 냉배수 배출 이전의 자료가 부재하여 냉배수의 영향을 파악하는데 어려움이 있다.

따라서 본 연구는 한국가스공사 통영 LNG생산기지의 냉배수 배수구로부터 거리별로 정점을 선택하여 해조류의 군집구조를 분석함으로써 지역별 해조류 군집의 차이를 파악하고 향후 지속적인 냉배수의 배출이 해조류 종조성 및 군집구조에 미치는 영향을 분석하기 위한 자료를 제공하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

채집방법

해조류는 경상남도 통영시 광도면에 위치한 한국가스공사 통영생산기지 배수구 인근의 예포와 약 20 km 이내의 3개 정점(덕포, 가조도, 칠천도)을 거리에 따라 지정하여 2009년 2월부

터 12월까지 계절별로 정량 및 정성 채집하였다(Fig. 1).

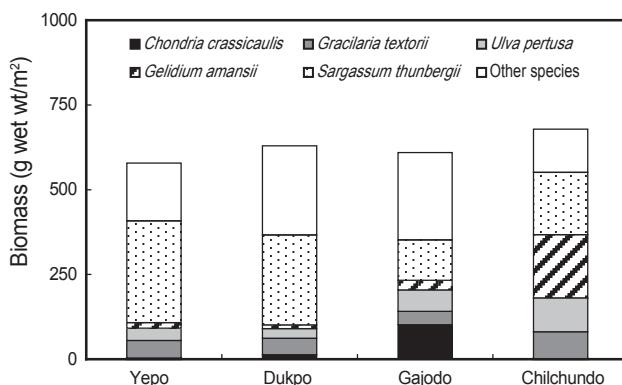
해조류의 정량 채집은 조석차이가 가장 큰 시기(사리)에 간조 시 드러난 조간대에서 정점을 대표하는 해조상과 생물량을 보이는 곳을 선택하여 10 cm × 10 cm로 구획된 방형구(50 cm × 50 cm)를 조간대 상, 중, 하부에 3개씩 놓고 현장에서 Saito and Atobe (1970)의 방법에 의해 피도 및 빈도를 야장을 기록하고 방형구 내에 출현한 모든 해조류를 끌갈을 이용하여 전량 채집하였다. 해조상은 조사해역에 서식하는 모든 해조류를 채집하여 확인하였으며 정량 및 정성 채집된 해조류는 현장에서 포르말린-해수용액(5-10%)으로 고정시켜 실험실로 운반한 후 현미경 하에서 동정하였으며, 출현종의 학명 및 국명은 Lee and Kang (2002)에 따랐다.

군집분석 및 군집지수

정량 채집된 해조류는 담수로 수회 세척하여 모래 및 불순물을 제거하고 종을 동정하여 습중량을 측정하였으며, 생물량(g wet wt/m²)으로 환산하였다. 피도는 현장에서 기록한 야장을 근거로 단위면적당 피복 백분율로써, 빈도는 전체 소방형구(25 개)에 대한 각 종이 출현한 방형구 수의 비로 계산하였으며 정점의 우점종을 판단하는 중요도(importance value)는 상대피도와 상대빈도의 산술평균으로 나타냈다(Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974). 해조류의 수평분포지수는 분류군별로 구분한 후 갈조류에 대한 녹조류의 비(C/P), 갈조류에 대한 홍조류의 비(R/P) 및 갈조류에 대한 홍조류와 녹조류 합의 비((R+C)/P)로 계산하였다(Feldmann, 1937; Segawa, 1956; Cheney, 1977). 계절별로 출현한 해조류의 종별 평균 생물량과 종수를 근거로 하여 Margalef (1958)의 풍도지수(richness index, R), Fowler and Cohen (1990)의 Shannon's 다양도지수(diversity index, H'), Pielou (1975)의 균등도지수(evenness index, J')와 McNaughton (1967)의 우점도지수(dominance index)를 구하고 각 정점의 유사도(similarity)를 분석하였다(Bray and Curtis, 1957). 생물량 자료를 변환(Square root transformation)하여 유사도를 분석하였으며, 그룹간 유의차 유무는 SIMPROF (similarity profile) test로 검정하였다. 또한, 그룹 간 유의차가 확인되면 SIMPER (similarity percentage) 분석을 실시하여 각 그룹 간 비유사도(dissimilarity)에 기여하는 종을 확인하였다. 군집분석은 PRIMER version 6 (Clarke and Gorley, 2006)를 이용하여 산출 및 도식화 하였다.

Table 2. Results of SIMPER analysis showing the contribution (%) of each species for dissimilarity between Group A (Yeo, Dukpo) and B (Gajodo, Chilchundo)

Species	Mean abundance (g wet wt/m ²)		Contribution (%)	Cumulative contribution (%)
	Group A	Group B		
Group A and B: average dissimilarity = 47.57				
<i>Gelidium amansii</i>	3.68	9.49	6.07	6.07
<i>Ishige okamurae</i>	5.78	0.84	5.04	11.11
<i>Sargassum thunbergii</i>	16.81	12.23	4.59	15.69
<i>Sargassum tortile</i>	4.27	0.00	4.33	20.02
<i>Chondria crassicaulis</i>	2.74	5.70	4.33	24.35
<i>Prionitis divaricata</i>	0.00	4.17	4.27	28.62
<i>Desmarestia tabacoides</i>	4.77	0.85	4.01	32.62
<i>Grateloupia elliptica</i>	0.53	4.01	3.90	36.53
<i>Ulva pertusa</i>	5.67	8.98	3.40	39.92
<i>Colpomenia sinuosa</i>	3.84	0.86	3.00	42.93
<i>Undaria pinnatifida</i>	0.00	2.77	2.70	45.62
<i>Ishige foliacea</i>	5.23	2.67	2.62	48.24
<i>Chondrus ocellatus</i>	0.09	2.55	2.48	50.72
<i>Sargassum horneri</i>	2.44	3.96	2.45	53.17
<i>Codium fragile</i>	1.35	2.34	2.27	55.44
<i>Sargassum pilularium</i>	0.56	2.62	2.1	57.54

Fig. 2. Seaweed biomass (g wet wt/m²) of dominant species on the intertidal rocky shores of Tongyeong, Korea during the study period (from Feb. to Dec. 2009).

결 과

종조성

본 연구기간에 통영인근의 4개 정점에서 출현한 해조류는 총 82종(녹조 10종, 갈조 25종, 홍조 47종)이었으며, 분류군별로 녹조류가 12.20%, 갈조류가 30.49%, 홍조류가 57.32%를 차지하여 홍조류의 출현종수가 최대였고, 갈조류와 녹조류 순위 비율을 보였다(Table 1). 전체 조사정점의 계절별 해조류 출현종수는 53-60종으로서 겨울에 최대였고 여름에 최소였다. 정점별 출현종수는 53-61종으로서 덕포에서 최대, 칠천도에서 최소였다.

예포에서 출현한 해조류는 총 58종으로 녹조류 6종(10.34%), 갈조류 18종(31.03%), 홍조 34종(58.62%)으로 홍조류의 비율이 가장 높았다. 계절별로 출현한 해조류는 31-42종으로 겨울에 최대였고 여름에 최소였으며, 녹조류 구멍갈파래(*Ulva pertusa*), 갈조류 지충이(*Sargassum thunbergii*)와 홍조류 애기우뭇가사리(*Gelidium divaricatum*), 개우무(*Pterocladia capillacea*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 까막살(*Carpopeltis affinis*), 애기가시덤불(*Caulacanthus okamurae*), 꼬시래기(*Gracilaria verrucosa*), 애기돌가사리(*Chondracanthus intermedia*), 누른끈적이(*Chrysymenia wrightii*), 개서실(*Chondria crassicaulis*), 새빨간검둥이(*Neorhodomela aculeata*), 모로우붉은실(*Polysiphonia morrowii*)이 연중 관찰되었다. 덕포에서는 녹조류 8종(13.11%), 갈조류 21종(34.43%), 홍조류 32종(52.46%)이 출현하여 총 61종의 해조류가 출현하였으며, 계절별 출현종수는 31-37종으로 가을에 최소였고 겨울에 최대였다(Table 1). 덕포에서 연중 출현한 해조류는 11종으로 녹조류 납작파래(*Enteromorpha compressa*)와 구멍갈파래, 갈조류 지충이, 홍조류 우뭇가사리(*Gelidium amansii*), 개우무, 까막살, 애기가시덤불, 잎꼬시래기(*Gracilaria textorii*), 꼬시래기, 새빨간검둥이와 모로우붉은실이 연중 출현하였다. 가조도에서는 총 60종으로 녹조류가 8종(13.33%), 갈조류가 20종(33.33%), 홍조류가 32종(53.33%)이었으며, 계절별로 30-38종이 출현하여 예포와 마찬가지로 여름에 최소였고 겨울에 최대 출현종수를 나타냈다. 가조도에서 연중 출현한 해조류는 구멍갈파래, 청각(*Codium fragile*), 불레기말(*Colpomenia sinuosa*), 넓파(*Ishige foliacea*), 지충이, 우뭇가사리, 애기우뭇가사리, 참

Table 3. Vertical distribution of dominant seaweeds based on importance value (IV>10) at the four study sites in Tongyeong, Korea

Site	Intertidal zone		
	High	Middle	Low
Yepo	<i>Sargassum thunbergii</i> (72.97)	<i>Sargassum thunbergii</i> (25.06)	<i>Ulva pertusa</i> (14.06)
		<i>Ishige foliacea</i> (19.47)	<i>Gracilaria textorii</i> (13.70)
		<i>Ishige okamurae</i> (19.40)	<i>Ishige okamurae</i> (12.36)
Dukpo	<i>Sargassum thunbergii</i> (42.96)	<i>Sargassum thunbergii</i> (30.53)	<i>Sargassum fulvellum</i> (23.60)
	<i>Ishige foliacea</i> (14.20)		<i>Desmarestia tabacoides</i> (16.41)
	<i>Chondracanthus intermedia</i> (10.93)		<i>Ulva pertusa</i> (11.13)
Gajodo	<i>Chondria crassicaulis</i> (17.34)	<i>Ulva linza</i> (19.26)	<i>Ulva pertusa</i> (16.51)
	<i>Ulva pertusa</i> (17.28)	<i>Chondria crassicaulis</i> (15.81)	<i>Gelidium amansii</i> (10.20)
	<i>Porphyra yezoensis</i> (13.85)	<i>Sargassum thunbergii</i> (14.15)	
	<i>Caulacanthus okamurae</i> (12.67)		
Chilchundo	<i>Sargassum thunbergii</i> (11.18)		
	<i>Sargassum thunbergii</i> (43.94)	<i>Sargassum thunbergii</i> (30.46)	<i>Gelidium amansii</i> (29.94)
	<i>Ralfsia verrucosa</i> (17.12)	<i>Ulva pertusa</i> (16.72)	<i>Ulva pertusa</i> (19.74)
	<i>Caulacanthus okamurae</i> (11.87)	<i>Gelidium amansii</i> (12.43)	<i>Gracilaria textorii</i> (17.33)
	<i>Gelidium amansii</i> (10.51)		

Table 4. Various community indices and distributional patterns of seaweeds at the four study sites in Tongyeong, Korea

Community indices	Yepo	Dukpo	Gajodo	Chilchundo
Dominance index (DI)	0.61	0.50	0.37	0.55
Richness index (R)	8.96	9.31	9.20	7.98
Evenness index (J')	0.50	0.54	0.65	0.53
Diversity index (H')	2.02	2.20	2.68	2.09
Chlorophyta / Phaeophyta (C/P)	0.33	0.38	0.40	0.55
Rhodophyta / Phaeophyta (R/P)	1.89	1.52	1.60	3.27
(R + C) / P	2.22	1.90	2.00	3.82

도박(*Grateloupia elliptica*), 애기가시덤불, 진두발(*Chondrus ocellatus*), 애기돌가사리, 개서실(*Chondria crassicaulis*)이었다. 칠천도에서는 연구기간 동안 총 53종의 해조류가 출현하여 녹조류(11.32%), 갈조류(20.75%), 홍조류(67.92%) 순의 비율을 보였으며, 계절별로는 26-32종으로 봄에 최소, 겨울에 최대였다. 칠천도에서 연중 출현한 해조류는 녹조류 구멍갈파래, 갈조류 지충이와 홍조류 우뭇가사리, 까막살, 긴까막살(*Prionitis divaricata*), 애기가시덤불, 잎꼬시래기, 잔금분홍잎(*Acrosorium polyneurum*), 누은분홍잎(*Acrosorium yendoi*)으로 총 9종이었다(Table 1).

생물량 및 우점종

통영의 4개 조사정점에서 4계절의 평균 생물량(g wet wt/m²)은 622.61 g였으며, 예포의 생물량은 578.11 g (412.34-679.41 g)으로 여름에 최소이고 봄에 최대였다. 종별 연평균 생물량에 따른 우점종은 전체 생물량의 51.92%를 차지한 지충이(300.15 g)였고 다음으로 잎꼬시래기(51.91 g, 8.98%)가 우점하였다 (Fig. 2). 예포의 생물량에 따른 계절별 우점종과 준우점종은 지

충이(227.26 g)와 잎꼬시래기(99.67 g, 겨울) - 지충이(269.67 g)와 잎꼬시래기(107.97 g, 봄) - 지충이(323.48 g)와 패(41.72 g, 여름) - 지충이(380.15 g)와 패(140.12 g, 가을)로 확인되었다. 덕포에서는 연평균 629.36 g으로 계절별로 271.49-833.29 g의 범위로, 여름에 최소, 가을에 최대였다. 종별 연평균 생물량에 따른 우점종은 지충이(265.37 g, 42.16%)였고 준우점종은 잎꼬시래기(48.86 g, 7.76%)였다(Fig. 2). 덕포에서 출현한 해조류의 계절별 우점종과 준우점종은 겨울에 잎꼬시래기(148.47 g)와 산말(*Desmarestia tabacoides*, 90.55 g), 봄에 지충이(256.72 g)와 모자반(*Sargassum fulvellum*, 150.02 g), 여름에 패배기모자반(*Sargassum tortile*, 96.42 g)과 지충이(90.94 g), 그리고 가을에는 지충이(630.64 g)와 패(92.42 g)로 확인되었다. 가조도에서 해조류의 계절별 생물량은 206.10-1,244.17 g (연평균 604.73 g)으로 봄에 최대였고 가을에 최소였다. 종별 연평균 생물량을 근거로 한 우점종과 준우점종은 지충이(118.92 g, 19.67%)와 개서실(101.85 g, 16.84%)이었고(Fig. 2), 계절별로는 겨울에 모자반과 잎꼬시래기가 각각 61.16 g과 60.98 g의 생물량을 보이며 우점종과 준우점종으로 확인되었다. 봄에는 지충이(360.91

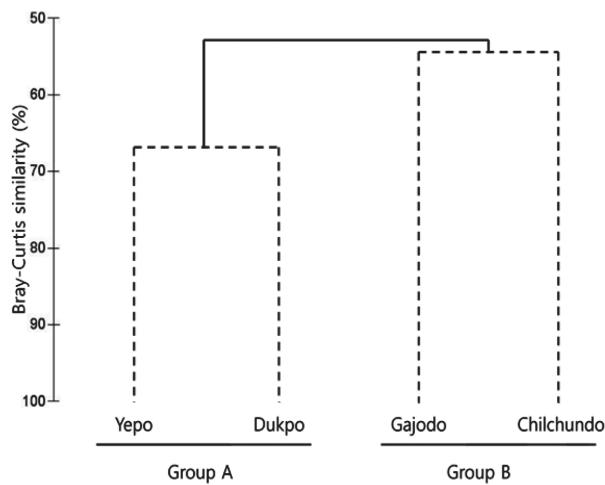


Fig. 3. Results of cluster analysis performed based on Bray-Curtis similarity of square root transformed seaweed floras and biomass. The dotted lines indicate no significant difference between the two study sites at each group (SIMPROF test).

g)와 참도박(237.07 g), 여름에는 개서실(279.51 g)과 구멍갈파래(102.03 g), 가을에는 지충이(71.34 g)와 모자반(51.74 g)이 우점종과 준우점종이었다. 칠천도에서는 연평균 678.26 g (406.59-1,165.86 g)으로 가조도와 같이 봄에 최대, 가을에 최소 생물량을 나타냈다. 종별 연평균 생물량에 따른 우점종은 전체 생물량의 27.48%를 차지한 우뭇가사리(186.39 g)였고 다음으로 지충이(183.86 g, 27.11%)가 우점하였다(Fig. 2). 계절별 우점종과 준우점종은 우뭇가사리(198.13 g)와 잎꼬시래기(95.03 g, 겨울) - 지충이(331.37 g)와 우뭇가사리(305.79 g, 봄) - 구멍갈파래(201.42 g)와 우뭇가사리(159.92 g, 여름) - 지충이(184.11 g)와 우뭇가사리(81.70 g, 가을)로 확인되었다.

정점의 출현종과 종별 평균 생물량 자료로 집괴분석을 한 결과 통계적 유의차를 보이는 2개 그룹, A그룹(예포, 덕포), B그룹(가조도, 칠천도)으로 구분되었다(Fig. 3). 그룹 A와 B는 각각 66.91%와 54.09%의 유사도로 하나의 그룹으로 묶였으며, A와 B 그룹은 유사도 52.43%로 통계적인 유의차가 확인되었다 (SIMPROF test, $P<0.05$). Bray Curtis similarity와 SIMPROF test에 의해 두 개의 유의성 있는 그룹으로 구분된 4개 정점의 그룹 간의 차이를 나타내는 종을 확인하기 위해 SIMPER 분석을 실시하여 비유사성에 기여하는 종을 확인한 결과는 Table 2와 같다. 그룹 A와 B의 비유사성에 기여도가 가장 높은 종은 6.07%의 기여도를 보인 우뭇가사리였고, 패, 지충이, 파배기모자반, 개서실, 긴까막살과 산말이 기여도 4%이상으로 두 그룹 간의 차이를 나타내는 종이었으며, 파배기모자반은 그룹 A에서만, 긴까막살은 그룹 B에서만 출현하는 특징을 보였다(Table 2).

수직분포

해조류의 중요도를 근거로 한 조간대의 조위별 우점종의 수

직분포는 Table 3과 같다. 지충이는 모든 조사정점의 조간대 상부와 중부에서 중요도값이 매우 높게 나타나 통영인근 지역을 대표하는 종으로 확인되었다. 패는 예포(중, 하부)에서만, 넓패는 예포(중부)와 덕포(상부)에서만 우점하는 것으로 확인되었다. 반면 애기가시덤불은 가조도와 칠천도의 상부에서만 중요도가 높게 나타났다. 또한 우뭇가사리도 가조도(하부)와 칠천도(상, 중, 하부)에서만 우점하였고, 개서실은 가조도의 상부와 중부에서, 꼬시래기의 경우 예포, 덕포, 칠천도의 하부에서만 우점하여 지역별로 조위에 따른 우점종의 차이가 확인되었다.

군집지수

해조류의 생물량을 이용하여 산출한 다양한 군집지수를 살펴보면, 우점도 지수(DI)는 0.37-0.61의 범위로, 예포에서 제 1, 2우점종인 지충이(300.14 g)와 잎꼬시래기(51.91 g)가 전체 생물량(578.11 g)의 60.90%를 차지하여 최대(0.61)였고, 가조도에서 제 1, 2우점종인 지충이(118.92 g)와 개서실(101.85 g)이 전체 생물량(604.73 g)의 36.51%를 차지하여 최소(0.37)였다. 출현종수와 관련된 풍도지수(R)는 가장 많은(61종) 해조류가 출현한 덕포에서 가장 높은 값(9.31)을, 최소 출현종수를 보인 칠천도에서 가장 낮은 값(7.98)을 보였다. 출현종수와 생물량에 따라 변화하는 균등도지수(J')는 0.50-0.65로 제 1 우점종이 전체 생물량의 51.92%를 차지한 예포에서 가장 낮았고, 제 1 우점종이 전체 생물량의 19.67%를 차지한 가조도에서 비교적 다양한 해조류의 생물량이 고루 분포함으로 인하여 가장 높았다. 출현종수와 종간 생물량의 분포인 균등도지수에 의해 결정되는 다양도지수(H')는 출현종수는 덕포보다 적었지만 균등도지수가 높은 가조도에서 최대였으며, 가조도에 비해 출현종수는 많았으나 균등도지수가 낮은 예포에서 최소였다(Table 4).

해조상의 지역적 특성을 나타내는데 C/P 값은 0.33-0.55의 범위로 갈조류가 가장 적은 11종이 출현한 칠천도에서 최대였고 예포에서 멀어질수록 C/P값이 증가하였다(Table 4). 지역별 R/P값은 1.52-3.27로 홍조류의 출현종수가 최소이고 갈조류의 출현종수가 최대인 덕포에서 최저(1.52)였고, 이와 반대로 갈조류의 출현종수가 최소이고 홍조류가 가장 많이 출현한 칠천도에서 최대였다. (R+C)/P 값도 1.90-3.82의 범위로 R/P값과 같이 덕포에서 최소값을 칠천도에서의 최대값을 나타냈다(Table 4).

고 찰

해조류의 출현종수는 지역, 조사방법 및 조사시기에 따라 큰 변화를 보인다(Oh et al., 2002; Kim et al., 2008). 본 연구의 4개 정점에서 동정된 해조류는 녹조류 10종, 갈조류 25종, 홍조류 47종으로 총 82종이 정점별로는 53-61종이 출현하였다. Hwang et al. (1997)은 1994년 남해의 신지도에서 연중 120종의 해조류를 보고하였으며, 본 연구에서는 79종으로 신지도의 65.83% 수준이었다. 또한 삼천포의 84종에 비해 다소 낮은 출현종수를 보였으나(Kim et al., 1986), 본 연구정점과 인접한 진해만에서는

연중 45종이(Kwak, 2009), 마산만에서는 42종(Kwak and Huh, 2009)이 보고되어 본 연구정점인 통영에서 해조류 식생이 비교적 풍부한 것으로 판단된다.

통영 인근의 4개 정점에서 연중 출현한 해조류는 녹조류의 구멍갈파래, 갈조류의 지충이와 홍조류인 애기가시덤불 3종이었으며, 우뭇가사리는 예포를 제외한 3개 정점에서 연중 출현하는 보편적인 종임이 확인되었다. 이들 해조류는 한려해상국립공원의 많은 지역에서 출현하는 남해안의 대표종으로 알려져 있으며(Choi, 2008a), 본 연구 정점과 인접한 마산만과 진해만에서도 연중 출현하는 것으로 확인되었다(Kwak, 2009; Kwak and Huh, 2009).

본 연구에서 녹조류가 12.20%, 갈조류가, 30.49%, 홍조류가 47.32%를 차지하여 남해 신지도(녹조류 12.50%, 갈조류 25.83%, 홍조류 61.67%), 부산 일광만(녹조류 9.71%, 갈조류 16.50%, 홍조류 73.79%), 진해만(녹조류 13.33%, 갈조류 22.22%, 홍조류 64.44%)과 마산만(녹조류 11.90%, 갈조류 19.05%, 홍조류 69.05%)에 비해 갈조류의 비율이 높고 홍조류의 비율이 낮은 것으로 확인되었다(Hwang et al., 1997; Kang et al., 2008; Kwak, 2009; Kwak and Huh, 2009). 본 연구의 정점별 갈조류의 비율은 20.75-34.43%로 예포, 덕포, 가조도에서 30%이상이었고 칠천도에서 가장 낮았다. Nam et al. (1996)은 이와 같은 분류군별 비율의 차이는 파도의 노출정도에 따른 물리적 환경에 의한 것이라 판단하였으며, Shepherd and Womersley (1981)는 녹조류나 홍조류가 해수의 유동이 강한 곳에서, 갈조류는 보호된 내만에서 주로 출현한다고 하였다. 본 연구에서도 파도의 영향이 상대적으로 적은 예포, 덕포와 가조도에서 칠천도에 비해 갈조류의 비율이 높게 나타나 Shepherd and Womersley (1981)의 결과와 유사하였다.

각 분류군의 출현종수를 기준으로 해조류의 지리적 분포의 특징을 나타내는 C/P값은 한대해역에서 아열대해역에 걸쳐 0.4-1.5 범위의 값을 보이고, R/P 값은 한·온대에서 열대해역은 1.1-4.3 범위를, (R+C)/P 값은 3보다 작을 때는 온대성 내지 한대성 해조상이고 6이상이면 열대성을, 중간값을 보일 때는 혼합성 해조상을 의미한다(Feldmann, 1937; Segawa, 1956; Cheney, 1977). 본 연구에서 C/P값은 0.33-0.55의 범위로 모든 조사정점이 한대해역 특징의 해조분포 특성이 나타났으나, R/P 값에 의해서는 칠천도(3.27)는 온대해역 분포 특성으로 예포, 덕포, 가조도는 1.52-1.89의 범위로 한대해역 분포특성으로 구분되었다. (R+C)/P 값에 의해서도 칠천도를 제외한 3지역은 한대성 해조상을 나타냈고 칠천도는 혼합성 해조상으로 특징지어졌다. Choi (2008a)는 남해 한려해상국립공원의 24개 정점에서 평균 C/P 0.74, R/P 1.91, (R+C)/P 2.64로 R/P 값을 제외한 C/P 값과 (R+C)/P 값이 본 연구결과보다 높았으며, Oh et al. (2002)도 해남의 10개 정점에서 (R+C)/P 값이 평균 4.8로 보고하여 본 연구결과와 차이를 나타냈다. 이와 같은 결과는 이번 조사해역이 비교적 한대해역 특성의 기준으로 활용 가능한 갈조류의 출현종수가 다른 지역보다 많았기 때문으로 판단된다.

본 연구정점 해조류의 수직분포를 보면, 상부에서는 지충이, 애기가시덤불과 개서실이, 중부에서는 지충이, 넓패와 잎파래가, 그리고 하부에서는 구멍갈파래, 우뭇가사리와 모자반이 번무하였다. 마산만 해조류의 조위별 수직분포는 구멍갈파래, 애기우뭇가사리(상부) - 갈파래류(*Ulva spp.*), 지충이, 애기우뭇가사리, 개서실(중부) - 구멍갈파래, 미역, 지충이, 우뭇가사리(하부)로 나타났으며(Kwak and Huh, 2009), 고흥군의 19개 무인도서에서는 상부에서 애기가시덤불과 파래류가, 중부에서 지충이와 패가, 하부에서는 작은구슬산호말, 패와 지충이가 수직 분포를 보여 이 해역에서의 일반종으로 기록되었다(Song et al., 2011). 본 연구와 고흥군 무인도서에서의 조위별로 우점하는 종이 다른 이유는 조사 시기(계절)가 본 연구와 다르고, 남해에서 지역별로 수온, 염분, 탁도 등 무생물적 환경이 다르기 때문인 것으로 판단된다.

해조류는 부영양화 된 해역과 온배수의 영향을 받는 해역에서 녹조류의 생물량이 증가하는 것으로 알려져 있는데(Díez et al., 1999; Wells et al., 2007; Choi, 2008b; Yoo et al., 2009), 본 연구의 녹조류의 생물량은 예포(37.51 g)와 덕포(41.44 g)에서 전체 생물량의 6.49-6.60%를 차지하였는데 반해, 가조도와 칠천도에서는 녹조류의 생물량이 각각 96.58 g과 101.03 g으로 전체 생물량의 14.90-15.97%를 차지하였다. 이와 반대로 갈조류의 생물량은 예포와 덕포에서 각각 420.02 g(72.65%)과 494.91 g(78.64%)으로 가조도(221.72 g, 36.66%)와 칠천도(228.11 g, 33.63%)에 비해 전체 생물량에 대한 비율이 두 배 이상 높았다. 한국가스공사 통영생산기지 배수구의 수온은 취수구에 비해 2.10-3.18°C 낮으며 동계에는 방사형으로 하계에는 연안을 따라 확산되는 것으로 알려져 있으며(KIOS, 2010), Kim (2011)은 배수구 인근의 수온이 다른 지역에 비해 낮다고 확인하였다. 본 연구에서 정량적인 수온 자료는 없지만, 동일한 시기에 측정한 냉배수에 의한 수온 변화범위를 보면(Kim, 2011; KOIS, 2010), 본 연구지역의 예포와 덕포는 배수구와 인접하여 방출수의 영향을 받는 지역에 포함된다. 따라서, 예포와 덕포에서 갈조류의 출현 비율과 생물량이 다른 정점에 비해 2배 이상 높은 것은 통영의 LNG생산기지의 냉배수와 관련이 있는 것으로 판단되지만 이에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 할 필요성이 있다.

결론적으로 통영 LNG 생산기지의 냉배수 인근 해역에 위치한 4개 조사정점의 해조류 군집구조를 분석한 결과, 해조류의 분류군별 출현종수와 생물량의 비율에 의해 2개 그룹으로 구분되었으나, 해조상과 군집구조에 대한 선행연구와 수온과 영양염 등에 대한 환경자료가 결핍되어 출현종수와 분류군별 생물량의 비율에서의 차이가 냉배수로 인한 결과인지지를 속단할 수 없다. 하지만 하나의 그룹으로 구분된 예포와 덕포가 냉배수의 영향을 받는 지역에 위치하기 때문에 LNG생산기지의 냉배수가 해조류 군집 변화에 직·간접적인 영향을 미쳤을 것으로 예상된다. 따라서 향후 지속적인 모니터링과 환경데이터가 축적되어야 정확한 분석이 가능할 것이라 판단된다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원의 어항을 활용한 어촌관광형 다영양입체양식(IMTA) 기술개발 과제(RP-2011-AQ-102)의 연구비 지원에 의해 이루어졌습니다.

참고문헌

- Bray JR and Curtis JT. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol Monogr* 27, 325-349.
- Cheney DP. 1977. R and C/P- A new improved ratio for comparing seaweed floras. *Suppl J Phycol* 13, 129.
- Choi CG. 2008a. Algal flora in Hallyeo-haesang national park southern coast of Korea. *J Kor Fish Soc* 41, 371-380.
- Choi HG. 2008b. Effects of thermal effluents from Wolseong nuclear power plant on macroalgal composition and community structure. *Algae* 22, 151-162.
- Choi DS. 1992. On the state of marine algal resources in the west-southern coast of Korea. *Bull Inst Litt Environ* 9, 81-103.
- Clarke KR and Gorley RN. 2006. PRIMER V6: User Manual/ Tutorial. PRIMER-E Ltd, Plymouth, U.K., 1-190.
- Díez I, Secilla A, Santolaria A and Gorostiaga JM. 1999. Phytobenthic intertidal community structure along an environmental pollution gradient. *J Mar Poll Bull* 38, 463-472.
- Feldmann J. 1937. Recherches sur la vegetation marine de la Mediterranee. *Rev Alg* 10, 1-340.
- Fowler J and Cohen C. 1990. Practical Statistics for Field Biology. John Wiley and Sons, New York, USA., 1-227.
- Hwang EK, Park CS, Koh NP and Sohn CH. 1997. Benthic marine algal communities of Shinjido, southern coast of Korea. *J Kor Fish Soc* 30, 574-584.
- Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull Pusan Fish Coll* 7, 1-125.
- Kang JW and Lee JH. 1979. The marine algal flora of Geoje-do area. *The Report of KACN* 14, 93-101.
- Kang PJ, Kim YS and Nam KW. 2008. Flora and community structure of benthic marine algae in Ilkwang bay, Korea. *Algae* 23, 317-326.
- Kim EA, Lee HB and Lee IK. 1986. Marine algal vegetation of Samchonpo, south coast of Korea. *Korean J Bot* 29, 175-183.
- Kim JK and Kim JH. 2001. Diffusion modelling of cold discharge on coastal waters. *J Fish Mar Sci Edu* 13, 132-145.
- Kim KM. 2011. Structure of phytoplankton community by cold cishcharge in the western Jinhae Bay. M.S. Thesis, Bukyong National University, Busan, Korea.
- Kim MS, Kim MR, Chung MH, Kim JH and Chung IK. 2008. Species composition and biomass of intertidal seaweeds in Chuja Island. *Algae* 23, 301-310.
- KIOS. 2010. Research the fishing damage due to operation of Tongyeong LNG receiving terminal. Korea Inter-University Institute of Ocean Science, Bukyong National University, Busan, Korea.
- Kordas RL, Harley CDG and O'Connor MI. 2011. Community ecology in a warming world: The influence of temperature on interspecific interactions in marine systems. *J Exp Mar Biol Ecol* 400, 218-226.
- Kwak SN. 2009. Marine benthic algal community at intertidal zone in Jinhae Bay. *J Kor Soc Mar Environ Saf* 15, 99-104.
- Kwak SN and Huh SH. 2009. Species composition and distributional patterns of marine benthic algae at intertidal zone in Masan bay. *J Kor Soc Mar Environ Saf* 15, 179-185.
- 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 southeast Alaska. *J Biogeogr* 36, 401-409.
- Lobban CS and Harrison PJ. 1997. Seaweed Ecology and Physiology. Cambridge University Press, New York, U.K., 1-366.
- Lüning K. 1980. Critical levels of light and temperature regulating the gametogenesis of three *Laminaria* species (Phaeophyceae). *J Phycol* 16, 1-15.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics* 3, 36-71.
- McNaughton SJ. 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature* 216, 168-169.
- Mueller-Dombois D and Ellenberg H. 1974. Aims and Methods of Vegetation Ecology. John Wiley and Sons, New York, U.S.A., 1-547.
- Nam KW, Kim YS, Kim YH and Sohn CH. 1996. Benthic marine algae in the east coast of Korea: flora, distribution and community structure. *J Korean Fish Soc* 29, 727-743.
- Oh BG, Lee JW and Lee HB. 2002. A summer marine benthic algal flora and community of uninhabited islands in Hae-namgun, southern coast of Korea. *J Kor Fish Soc* 35, 57-63.
- Pielou EC. 1975. Ecological Diversity. John Wiley, London, U.K., 1-165.
- Saito Y and Atobe S. 1970. Phytosociological study of intertidal marine algae. 1. Usujiri Benten-Jima, Hokkaido. *Bull Fac Fish Hokkaido Univ* 21, 37-67.
- Segawa S. 1956. Colored Illustrations of the Seaweeds of Japan. Osaka, Pub. Co., LTD. Japan, 1-195.

- Shepherd PHA and Womersley HBS. 1981. The algal and seagrass ecology of Waterloo Bay, South Australia. *Aquat Bot* 11, 305-371.
- Song JN, Park SK, Heo JS, Kim BH, Yoo HI and Choi HG. 2011. Summer seaweed flora and community structure of uninhabited islands in Goheung, Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 44, 524-532.
- Song SH, Choi JS and Sohn CH. 1970. Summer algal flora at Odongdo, Yeosu. Thesis Collect. Yeosu Fish Tech Coll 4, 18-28.
- Sohn CH. 1987. Phytogeographical characterization and quantitative analysis of algal communities in Korea. Ph. D. Thesis, Chonnam National University, Kwang Ju, Korea.
- Tribollet AD and Vroom PS. 2007. Temporal and spatial comparison of the relative abundance of macroalgae across the Mariana Archipelago between 2003 and 2005. *Phycologia* 46, 187-197.
- Wells E, Wilkinson M, Wood P and Scanlan C. 2007. The use of macroalgal species richness and composition on intertidal rocky seashores in the assessment of ecological quality under the European water framework directive. *Mar Pollut Bull* 55, 151-161.
- Yoo HI, Park HH and Choi HG. 2009. Marine algal floras and community structures in the vicinity of the Taean power plant in Korea. *Kor J Fish Aquat Sci* 42, 387-394.

2011년 10월 10일 접수
2011년 11월 7일 수정
2011년 11월 14일 수리