

한국 일광만 저서 해조류의 해조상과 군집구조

강필준¹ · 김영식² · 남기완^{1*}

(¹부경대학교 자원생물학과, ²군산대학교 해양생명과학부)

Flora and Community Structure of Benthic Marine Algae in Ilkwang Bay, Korea

Pil Joon Kang¹, Young Sik Kim² and Ki Wan Nam^{1*}

¹Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

²School of Marine Life Science, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

Marine algal flora and community structure were investigated seasonally at three sites in Ilkwang Bay on the southern east coast of Korea from May 2007 to February 2008. Total 103 species including 10 of green algae, 17 of brown algae, 76 of red algae were collected and identified. Among these species, 21 species were found throughout the year. *Ulva pertusa*, *Enteromorpha linza*, *Grateloupia lanceolata*, *Chondracanthus intermedia* and *Caulacanthus ustulatus* were distributed dominantly in upper intertidal zone. By contrast, crustose coralline algae, *Grateloupia* spp., *Chondracanthus tenellus*, *Prionitis cornea* and *Sargassum* spp. occurred predominantly in middle intertidal zone. *Grateloupia* spp., *Sargassum* spp., *Ecklonia cava* and *Ulva pertusa* were dominant in lower intertidal zone. Annual mean biomass in wet weight was 478.3 g m⁻². Maximum biomass was recorded in site 1 (731.8 g m⁻²), and minimum was recorded in site 3 (78.5 g m⁻²). The R/P, C/P and (R + C)/P value reflecting flora characteristics were 4.47, 0.59 and 5.06, respectively. Two groups produced by cluster analysis, one including sites 1, 2 and the other including site 3, showed meaningful difference in similarity, each other. Site 3 showed the limited species composition due to inflow of fresh water and absence of solid substratum. However, there was no significant difference between site 1 and site 2. In conclusion, the number of marine algae species and biomass in Ilkwang Bay were markedly reduced comparing with the previous studies. These suggest that a solution for reconstruction of the poor marine algal vegetation is considerably demanded.

Key Words: community structure, flora, Ilkwang Bay, Korea, marine algae

서 론

교토의정서 발효(2005년 2월 16일) 이후 온실효과에 의한 지구 온난화의 주범인 대기중의 CO₂를 포함한 온실가스 저감은 전 지구적인 현안문제로 등장하고 있다. 생물학적으로는 해조류도 육상 수목과 마찬가지로 광합성에 의한 CO₂를 흡수한다. 그러나 현재 육상 수목과는 달리 IPCC(기후변화에 관한 정부간 협의체)에 의해 CO₂ 흡수원으로 지정되어 있지 않다. 따라서 CO₂ 흡수원으로 인정받기 위한 국제적인 연대와 함께 이와 관련된 보다 체계적인 해조류 연구의 필요

성이 요구되고 있다. 이를 위해서 가장 우선적으로 수행되어야 할 일은 우리나라 해역의 자연생태계내 해조류 생물량을 시공간적으로 파악하는 일이다. 이를 통하여 CO₂ 흡수량 평가의 기초 자료를 제공하고, 궁극적으로는 생태계내 CO₂ 제거벨트로서의 해조류 역할을 확인할 수 있도록 하는 것이다. 그러므로 이러한 시점에서 주요 해역의 해조상 및 군집조사 연구는 매우 중요하다 할 수 있을 것이다.

한국산 해조류에 대한 연구는 Kang(1966)에 의해 지리적 분포가 논의되면서 실질적으로 시작되었다. Kang(1966)은 한국 연안의 수온과 해류와 같은 해양 환경을 기초로 하여 한국 연안을 동해안 북부, 동해안 남부, 남해안, 서해안 및 제주도의 5개 해역으로 구분하고, 한국 전 연안에 생육하는 해조류로 남조류 11종, 녹조류 61종, 갈조류 95종, 그리고 홍

*Corresponding author (kwnam@pknu.ac.kr)

조류 247종을 논하면서 총 414종을 보고하였으며, 동해안 출현종은 남조류 3종, 녹조류 25종, 갈조류 48종 및 홍조류 120종으로 총 196종을 밝혔다.

동해안 남부 지역의 해조류에 관한 연구로는 Lee and Kang(1971)과 Lee(1972, 1974)가 해운대 동백섬에 관한 연구에서 출현종의 계절변화 및 수직분포 등을 보고하면서 본격적으로 시작되었다. Kim and Lee(1980, 1981)는 각각 고리와 월성의 원자력 발전소 부근의 해조군집을 조사하였으며, Lee *et al.*(1984)은 부산 동백섬과 기장 해안에서 저서생물 군집 조사의 일환으로 해조 군집을 조사하였다. 그 후 Nam and Kim(1999)은 부산 용호동 일대의 해조상 및 군집 구조를 논하였으며, Yoo(2003a, b)는 각각 부산 동백섬과 서암 조간대의 해조 군집구조를 보고하였다. 최근 Choi(2007)는 부산 영도의 해조상과 곰피 군락에 대한 연구를 수행한 바 있다.

본 연구지역인 일광만은 동해안의 남단과 남해안의 동단에 위치하여 북태평양의 서부 해안을 따라 북상하는 쿠로시오 해류의 지류인 대마난류의 영향을 강하게 받는 곳으로 Kang(1966)이 구분한 남동해구와 남해구의 경계에 위치함으로써 우리나라 해조류의 지리적 분포의 구분에 있어 매우 중요한 지형적 특색을 가진다. 또한 이곳은 부산광역시 외곽에 자리잡고 있어 날로 확대되고 있는 도시화로 인하여 연안 생태계의 변화가 예상되는 지역이기도 하다. 그럼에도 불구하고 이곳 해조류에 관한 연구는 매우 빈약한 실정이다.

따라서 본 연구는 해조류를 이용한 온실가스 저감 연구사업의 일환으로 일광만의 해조상 및 군집구조를 파악하고 과거와 현재의 식생을 비교 분석하여 이 지역 해조류의 시공간적 변화를 구명하고, 차후 자연 생태계에서의 해조 생물량의 연간변동 및 연안역 CO₂ 제거벨트로서의 해조림 조성 및 유지, 관리를 위한 기초 자료로 활용하고자 시도되었다.

재료 및 방법

본 연구의 조사정점은 일광만 내에 파도 및 염분 등 물리화학적 환경조건을 달리하는 세 곳을 선정하여 2007년 5월부터 2008년 2월까지 계절별로 조사하였다(Fig. 1). 정점 1은 일광만 외측에 위치하고 있어서 외양의 파도의 영향에 직접적으로 노출되어 있다(Fig. 1). 이에 비해 정점 2는 만의 내측에 위치하고 있어서 파도로부터 비교적 보호되어 있으며, 정점 3은 하천수(이천)의 유입으로 담수의 영향을 많이 받고 있다. 조사 정점의 수온과 염분은 각각 수온계(testo 925, Testo)와 염분계(S/MILL-E, ATAGO)를 이용하여 현장 조사시 직접 측정하였다.

해조상과 군집조사는 각 정점별로 해조 생육 상한선으로부터 조하대 수심 7 m까지 transect line을 설정하여 각 정점



Fig. 1. A map showing the sampling sites in Ilkwang Bay, southern east coast of Korea.

별로 25개의 10 cm × 10 cm의 소방형구로 나누어진 50 cm × 50 cm 방형구를 이용하여 방형구내에 출현한 해조류의 피도와 빈도를 현장에서 측정하였다(Saito and Atoke 1970). 그리고 방형구내에 출현한 모든 해조류를 낚칼 등으로 전량 채집한 뒤 아이스박스 등을 이용하여 저온 보관한 후 즉시 실험실로 운반하여 5-10% 포르말린-해수로 고정하였다. 그 이후, 채집된 해조류의 종조성, 피도, 빈도 등 군집분석을 위한 보다 보완적인 정성, 정량자료가 산출되었고 현존량은 페이퍼 타월을 이용해 습기를 제거한 뒤 습중량을 측정하여 단위 면적(m²)당 생물량으로 환산하였다.

군집의 우점종 파악을 위하여 출현종의 피도와 빈도를 기초로 상대피도, 상대빈도를 산출하였으며, 이것으로 중요도(IV, important value)를 계산하였다. 상대피도는 방형구내의 전 출현종의 피도 합에 대한 대상 종의 피도 백분율로, 상대빈도는 방형구내의 전 출현종의 빈도 합에 대한 대상 종의 빈도 백분율로 나타내었으며, 중요도는 상대피도와 상대빈도의 산술평균으로 산출하였다(Mueller-Dombois and Ellenberg 1974).

종 동정은 남조류를 제외한 녹조류, 갈조류, 홍조류에 국한하여 이루어졌고, 동정된 해조류의 학명과 목록 정리는 Lee and Kang(1986)과 Lee and Kang(2002)의 분류체계를 기준으로 하였다. 지역 해조상의 특성을 파악하는 지표로는 R/P(Feldmann 1937), C/P(Segawa 1956)와 (R+C)/P(Cheney 1977)값을 이용하여 분석하였다. 각 정점별 종다양도는 Shannon의 다양도지수(H')를 이용하였고, 집괴분석은 PRIMER 6.0 computer package를 이용하여 수지도를 작성하였다.

Table 1. A list of marine algal species occurred in Ilkwang Bay, Korea

Species	Season	Spring			Summer			Autumn			Winter			Total
	Site	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Chlorophyta														
<i>Ulothrix flacca</i>					+									
<i>Enteromorpha clathrata</i>							+							
<i>Enteromorpha compressa</i>			+			+	+	+						
<i>Enteromorpha linza</i>			+	+		+	+	+		+				+
<i>Ulva conglobata</i>		+										+		
<i>Ulva pertusa</i>		+	+		+	+	+	+	+		+	+	+	
<i>Urospora penicilliformis</i>					+									
<i>Cladophora wrightiana</i>					+									
<i>Bryopsis plumosa</i>								+	+					
<i>Codium fragile</i>									+					
Phaeophyta														
<i>Dictyopteris divaricata</i>					+									
<i>Dictyopteris prolifera</i>		+												
<i>Dictyota dichotoma</i>					+	+			+			+		
<i>Padina arborescens</i>									+			+		
<i>Colpomenia sinuosa</i>		+	+		+	+					+	+		
<i>Scytosiphon lomentaria</i>			+											
<i>Ecklonia cava</i>		+				+		+	+		+	+		
<i>Undaria pinnatifida</i>												+		
<i>Laminaria japonica</i>														+
<i>Myagropsis myagroides</i>								+						
<i>Sargassum confusum</i>									+			+		
<i>Sargassum fulvellum</i>								+						
<i>Sargassum horneri</i>		+							+		+	+		
<i>Sargassum miyabei</i>											+			
<i>Sargassum patens</i>											+			
<i>Sargassum piluliferum</i>		+	+											
<i>Sargassum thunbergii</i>		+	+			+			+		+	+		
Rhodophyta														
<i>Audouinella dictyotae</i>						+								
<i>Alatocladia modesta</i>											+			
<i>Amphiroa anceps</i>		+			+	+			+		+	+		
<i>Amphiroa pusilla</i>			+											
<i>Bossiella cretacea</i>		+												
<i>Corallina pilulifera</i>			+		+	+		+	+		+	+		
Crustose coralline algae		+	+		+			+						
<i>Lithothamnion cystocarpideum</i>					+									
<i>Marginisporum aberrans</i>			+		+									
<i>Gelidium amansii</i>		+			+	+		+	+		+			
<i>Gelidium divaricatum</i>		+												
<i>Gelidium tenue</i>									+					
<i>Gelidium vagum</i>					+									
<i>Pterocladia capillacea</i>									+		+			
<i>Delisea pulchra</i>											+			
<i>Caulacanthus ustulatus</i>					+			+			+			
<i>Chondracanthus intermedia</i>		+	+											
<i>Chondracanthus tenellus</i>		+			+	+		+	+		+	+		
<i>Chondrus ocellatus</i>		+	+		+			+	+		+			
<i>Hypnea charoides</i>		+	+		+	+		+	+			+		
<i>Hypnea japonica</i>								+			+			

Table 1. (continued)

Species	Season	Spring			Summer			Autumn			Winter			Total
	Site	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
<i>Hypnea saidana</i>								+			+			
<i>Callophyllis japonica</i>		+									+			
<i>Peyssonnelia caulifera</i>											+			
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>		+			+			+			+	+		
<i>Carpopeltis affinis</i>		+						+						
<i>Grateloupia acuminata</i>								+						
<i>Grateloupia elliptica</i>		+			+	+		+			+	+		
<i>Grateloupia filicina</i>		+			+			+	+		+	+		
<i>Grateloupia lanceolata</i>		+	+		+			+	+		+	+		
<i>Grateloupia prolongata</i>		+			+							+		
<i>Grateloupia sparsa</i>		+		+										
<i>Grateloupia turuturu</i>											+			
<i>Halymenia dilatata</i>									+		+	+		
<i>Prionitis angusta</i>												+		
<i>Prionitis cornea</i>		+	+		+	+		+	+		+	+		
<i>Prionitis divaricata</i>											+			
<i>Sinkoraena lancifolia</i>		+												
<i>Gracilaria textorii</i>		+									+			
<i>Gracilaria verrucosa</i>							+							+
<i>Plocamium leptophyllum</i>								+			+			
<i>Plocamium ovicornis</i>					+									
<i>Plocamium telfairiae</i>		+	+		+			+	+		+	+	+	
<i>Plocamium telfairiae</i> f. <i>uncinatum</i>		+												
<i>Champia parvula</i>		+	+		+	+		+	+		+	+		
<i>Lomentaria catenata</i>		+	+	+	+	+		+	+		+	+		
<i>Lomentaria hakodatensis</i>					+	+		+	+		+	+		
<i>Rhodymenia intricata</i>					+	+			+		+			
<i>Aglaothamnion callophyllidicola</i>								+						
<i>Anotrichium furcellatum</i>								+	+					
<i>Campylaephora hypnaeoides</i>								+			+			
<i>Ceramium kondoi</i>						+					+			
<i>Ceramium tenerrimum</i>								+						
<i>Griffithsia japonica</i>						+								
<i>Herpochondria elegans</i>											+			
<i>Pterothamnion yezoense</i>								+						
<i>Wrangelia tenegana</i>					+									
<i>Heterosiphonia japonica</i>		+		+	+			+	+		+	+	+	
<i>Acrosorium flabellatum</i>											+			
<i>Acrosorium polyneurum</i>		+	+					+	+		+	+	+	
<i>Acrosorium venulosum</i>								+	+		+	+		
<i>Acrosorium yendoi</i>		+	+		+	+		+	+		+	+		
<i>Phycodrys fimbriata</i>					+						+			
<i>Chondria crassicaulis</i>					+	+		+	+		+	+		
<i>Chondria pellucida</i>					+									
<i>Chondrophycus cartilaginea</i>					+									
<i>Chondrophycus undulatus</i>								+						
<i>Laurencia nipponica</i>					+									
<i>Laurencia pinnata</i>		+						+	+		+	+		
<i>Laurencia venusta</i>								+			+			
<i>Leveillea jungermannioides</i>					+			+						
<i>Neorhodomela aculeata</i>					+									
<i>Neosiphonia decumbens</i>					+	+	+	+	+		+	+		

Table 1. (continued)

Species	Season Site	Spring			Summer			Autumn			Winter			Total
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
<i>Neosiphonia japonica</i>					+								+	
<i>Neosiphonia yendoi</i>			+					+						
<i>Symphycloadia latiuscula</i>		+	+	+	+	+		+	+		+			
Chlorophyta		2	3	1	4	3	4	4	3	1	2	1	2	10
Phaeophyta		6	4	0	2	5	0	3	6	0	6	8	1	17
Rhodophyta		29	16	4	36	18	2	38	26	0	43	23	4	76
Sum		37	23	5	42	26	6	45	35	1	51	32	7	103

+, occurred

결 과

조사지 수온과 염분

세 정점의 수온은 계절에 따라 12.2-28.4°C로 측정되었는데, 각 정점 간에 약간의 차이를 보여서 정점 1의 수온은 연중 다른 두 정점에 비해 다소 높았으며, 정점 2, 3은 여름을 제외하고 거의 유사한 경향을 보였다. 염분은 정점 1, 2에서는 평균 35 psu로 유사하였지만, 정점 3은 두 정점에 비하여 약간 낮은 값을 보였다.

종 조성

본 연구기간 동안 이 지역에 출현한 해조류는 총 103종으로 확인되었으며, 분류문별로는 녹조식물(Chlorophyta) 10종, 갈조식물(Phaeophyta) 17종, 홍조식물(Rhodophyta) 76종으로 홍조식물이 73.8%로 가장 높은 비율로 출현하였다(Table 1). 각 계절별 출현종수는 겨울에 61종으로서 가장 많이 출현하였으며, 가을(56종), 여름(52종), 봄(44종) 순이었다. 정점별 종수를 비교해보면, 정점 1에서 총 89종으로 출현종수가 가장 많았고, 정점 2는 총 54종, 정점 3에서는 13종으로 출현종수가 가장 적었다.

계절별로 연중 관찰된 종은 총 21종으로, 녹조류 2종(잎파래(*Enteromorpha linza*), 구멍갈파래(*Ulva pertusa*)), 갈조류 2종(감태(*Ecklonia cava*), 지층이(*Sargassum thunbergii*)), 홍조류 17종(넓은게발(*Amphiroa anceps*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 우뚝가사리(*Gelidium amansii*), 돌가사리(*Chondracanthus tenellus*), 진두발(*Chondrus ocellatus*), 참가사리우무(*Hypnea charoides*), 부챗살(*Ahnfeltiopsis flabelliformis*), 참도박(*Grateloupia elliptica*), 참지누아리(*Grateloupia filicina*), 개도박(*Grateloupia lanceolata*), 붉은까막살(*Prionitis cornea*), 참곱슬이(*Plocamium telfairiae*), 참사슬풀(*Champia parvula*), 마디잘록이(*Lomentaria catenata*), 엇가지풀(*Heterosiphonia japonica*), 누은분홍잎(*Acrosorium*

yendoi), 참보라색우무(*Symphycloadia latiuscula*))이었고, 이 중 홍조류가 약 81%로 높은 비율을 기록했다(Table 1).

중요도와 생물량

본 조사에서 분석된 일광만의 주요 종(IV > 5)의 중요도와 생물량은 Table 2와 같다. 중요도가 20 이상을 나타낸 해조류는 정점 1에서 구멍갈파래, 정점 2에서 구멍갈파래와 개도박, 정점 3에서 잎파래, 구멍갈파래, 꼬시래기(*Gracilaria verrucosa*)로 나타났다. 계절별 주요 종의 종수는 겨울에 16종으로 가장 풍부했으며, 여름에 12종, 가을과 봄에는 각각 9종, 6종씩 관찰되어 상대적으로 빈약하였다. 봄에는 정점 1에서 무절석회조류가 우점종으로 나타났고 정점 2와 정점 3에서는 모두 잎파래가 우점종이었으나, 정점 3의 잎파래를 제외한 주요 종의 중요도는 모두 10 이하로 관찰되었다. 여름에는 정점 1과 정점 2에서 구멍갈파래가 각각 21.1과 36.7의 중요도를 보이면서 우점하였고, 정점 3에서는 잎파래가 74.8의 높은 중요도를 보였다. 가을에는 정점 1에서 여름과 마찬가지로 구멍갈파래가 가장 높은 중요도를 보였고 정점 2에서는 개도박과 팽생이모자반(*Sargassum horneri*)이 비교적 높은 중요도를 기록했다. 정점 3에서는 단지 잎파래만 출현하여 중요도 100으로 나타났다. 겨울에는 정점 1에서 참도박이 11.4로 가장 높은 중요도를 보였고 정점 2에서는 가을과 같이 개도박과 팽생이모자반의 중요도가 높게 기록되었다. 정점 3에서는 구멍갈파래가 56.1의 가장 높은 중요도를 보였다.

각 정점별 평균 생물량은 정점 1에서 731.8 g m⁻²으로 가장 큰 생물량을 보였으며, 다음으로 정점 2에서 624.5 g m⁻²을, 정점 3은 가장 작은 78.5 g m⁻²으로 나타났다(Table 2). 생물량이 100 g m⁻² 이상을 나타낸 해조류는 여름에 정점 1에서 구멍갈파래와 붉은까막살이었으며 정점 2에서는 구멍갈파래, 지층이, 개서실(*Chondria crassicaulis*)이 높은 값을 보였다. 가을에는 정점 1에서 돌가사리와 외틀개모자반(*Myagropsis myagroides*)이 높은 생물량을 보였고 정점 2에서

Table 2. Seasonal important value (IV) and biomass (wet weight g m⁻²) of the major algal species (IV > 5.0) of Ilkwang Bay, Korea

Season	Species	Site						Mean Biomass
		1		2		3		
		IV	Biomass	IV	Biomass	IV	Biomass	
Spring	<i>Ulva pertusa</i>	+	16.6	5.4	34.4			
	<i>Enteromorpha compressa</i>			7.6	20.9			
	<i>Enteromorpha linza</i>			9.7	31.5	22.4	75.2	
	Crustose coralline algae	6.4	nd					
	<i>Grateloupia elliptica</i>	6.0	54.6					
	<i>Lomentaria catenata</i>	5.2	75.0	+	*	+	*	
	Others		349.0		197.1		4.0	
	Total		495.1		283.8		79.2	286.1
	Summer	<i>Ulva pertusa</i>	21.1	170.3	36.7	184.3	12.4	5.0
<i>Enteromorpha clathrata</i>						8.5	2.7	
<i>Enteromorpha linza</i>				+	*	74.8	16.8	
<i>Dictyota dichotoma</i>		+	27.4	6.8	9.4			
<i>Ecklonia cava</i>				6.0	41.1			
<i>Sargassum thunbergii</i>				7.0	177.7			
<i>Chondracanthus tenellus</i>		9.7	58.1					
<i>Hypnea charoides</i>		6.2	29.7	11.8	57.3			
<i>Grateloupia elliptica</i>		10.3	90.7	6.0	56.7			
<i>Grateloupia lanceolata</i>		5.4	71.7					
<i>Prionitis cornea</i>		12.7	108.6	+	*			
<i>Chondria crassicaulis</i>		+	19.3	12.1	112.3			
Others			185.3		30.7		1.6	
Total			761.1		669.5		26.1	485.6
Autumn	<i>Ulva pertusa</i>	20.8	95.7	6.9	25.6			
	<i>Enteromorpha linza</i>	+	*			100.0	63.8	
	<i>Ecklonia cava</i>	+	6.2	9.9	133.9			
	<i>Myagropsis myagroides</i>	7.8	136.8					
	<i>Sargassum confusum</i>			8.1	38.0			
	<i>Sargassum horneri</i>			19.8	210.2			
	<i>Chondracanthus tenellus</i>	9.3	146.1	+	*			
	<i>Grateloupia lanceolata</i>	+	14.2	25.2	156.1			
	<i>Hypnea charoides</i>	6.0	65.0	+	*			
	Others		361.0		82.5		0.0	
Total		825.1		646.3		63.8	511.7	
Winter	<i>Ulva pertusa</i>	7.3	29.6	+	*	56.1	52.6	
	<i>Ecklonia cava</i>			7.0	110.5			
	<i>Undaria pinnatifida</i>			6.6	80.8			
	<i>Laminaria japonica</i>					9.0	13.0	
	<i>Sargassum confusum</i>			9.2	85.2			
	<i>Sargassum horneri</i>	+	97.7	12.0	320.7			
	<i>Sargassum thunbergii</i>	6.2	43.3	+	7.7			
	<i>Corallina pilulifera</i>	+	*	6.6	14.3			
	<i>Caulacanthus ustulatus</i>	6.8	34.1					
	<i>Grateloupia elliptica</i>	11.4	138.8	+	*			
	<i>Grateloupia lanceolata</i>	+	5.0	27.8	178.9			
	<i>Gracilaria verrucosa</i>					25.4	76.1	
	<i>Prionitis cornea</i>	6.7	59.2	+	13.8			
	<i>Lomentaria catenata</i>	7.1	94.2	+	*			
	<i>Acrosorium polyneurum</i>	+	8.3	5.0	15.2	+	*	
	<i>Symphyocladia latiuscula</i>	6.3	35.5					
	Others		300.3		71.4		3.2	
	Total		846.0		898.4		144.9	629.8
Mean		731.8		624.5		78.5	478.3	

+, IV < 5.0; *, biomass < 1.0 g m⁻²; others, sum of IV < 5.0; nd, no data

Table 3. Comparison of R/P, C/P and (R+C)/P values of marine algal flora, number of species and biomass investigated at the southern east coast of Korea

Site	Ratio			Number of species	Biomass (g m ⁻²)	References
	R/P	C/P	(R+C)/P			
Dongbaiksum	2.47	0.74	3.21	181	nd	Lee and Kang (1971)
Kijang	3.75	0.54	4.29	127	242-262(D)	Lee et al. (1984)
Yongil Bay	5.05	0.90	5.95	139	185.8(D)	Nam et al. (1996)
Yongho-dong	2.19	0.50	2.69	96	1,241-1,648(W)	Nam and Kim (1999)
Dongbaekseom	2.35	0.55	2.90	82	nd	Yoo (2003a)
Seoam	2.76	0.35	3.12	75	nd	Yoo (2003b)
Youngdo	2.33	0.48	2.81	69	nd	Choi (2007)
Ilkwang	4.47	0.59	5.06	103	478.3(W)	This study

nd, no data; D, dry weight; W, wet weight

는 팽생이모자반이 다량 분포했고, 다음으로는 개도박과 감태가 높은 생물량으로 출현하였다. 겨울에는 정점 1에서 참도박이 가장 높은 값을 보였고 정점 2에서는 팽생이모자반이 320.7 g m⁻²으로 4계절 중 가장 높은 생물량을 기록했으며, 다음으로 역시 개도박과 감태가 높은 생물량을 보였다. 정점 3에서 조사 기간 동안 100 g m⁻²를 넘는 해조류는 전혀 관찰되지 않았다. 계절별 생물량은 겨울에 629.8 g m⁻²로 가장 높은 값을 기록했고 가을에 511.7 g m⁻², 여름에 485.6 g m⁻², 봄에는 가장 낮은 286.1 g m⁻²를 기록하였다. 본 연구 기간 동안 일광만 내의 연평균 생물량은 478.3 g m⁻²로 나타났다.

수직분포

일광만 해조류의 수직분포는 정점별, 계절별로 다른 양상을 보였다. 정점 1 상부에는 봄에 애기돌가사리 (*Chondracanthus intermedia*), 여름과 가을에 구멍갈파래, 그리고 겨울에 애기가시덤불 (*Caulacanthus ustulatus*)이 나타났고, 중부에서는 봄에 무절석회조류, 여름에는 붉은까막살, 가을에는 돌가사리, 겨울에는 참도박이 우점하여 계절마다 우점종이 변화하였다. 하부에서는 참도박과 모자반류 (*Sargassum* spp.)가 군집을 형성하고 있었다. 정점 2의 해조 군집은 상부에는 봄과 여름에 각각 잎파래, 구멍갈파래가 분포했고 가을과 겨울에는 개도박이 넓게 분포하고 있었다. 중부에는 봄에 지충이가, 여름에는 구멍갈파래가 분포하였으며, 가을에는 팽생이모자반이, 겨울에는 개도박이 우점하였다. 하부에서는 구멍갈파래와 감태가 봄과 여름에 널리 분포했고 개도박과 팽생이모자반은 각각 가을과 겨울에 우점하였다. 정점 3에서는 겨울을 제외한 나머지 계절에서 잎파래가 널리 분포한 반면 겨울에 상부에는 꼬시래기가, 중부와 하부에는 구멍갈파래가 우점했다.

생태지수

해조상의 지역적 특성을 나타내는 R/P 값은 여름에 8.0으로 가장 높은 값을 보였고, 여름을 제외한 나머지 계절에서는 4.3-5.4의 비슷한 값을 나타냈다. C/P 값은 평균 0.3-1.4의 값을 보였는데 여름에 1.4로 가장 높은 값을, 겨울에 0.3으로 가장 낮은 값을 기록했다. (R+C)/P 값을 보면 다른 지수와 비슷한 경향을 보였는데 여름에 9.4의 높은 값을 나타냈고 겨울에 4.5로 가장 낮은 값을 보였다. 일광만의 전체 종에 대한 R/P 값은 4.47, C/P 값은 0.59, (R+C)/P 값은 5.06을 나타냈다(Table 3).

해조류의 피도를 이용하여 산출한 종다양도지수(H') 값은 정점 1에서 2.5-3.0으로 세 정점 중 가장 높았고, 정점 2에서는 2.0-2.7로 정점 1에 비하여 다소 낮았지만 큰 차이가 없었다(Fig. 2). 반면 정점 3에서는 0.0-1.2로 매우 낮은 값을 보였다.

고 찰

어떤 해역의 해조상의 특성을 분석하는데 있어서 Feldmann(1937)은 홍조류와 갈조류의 비인 R/P 값을 이용하여 한·온대 지역에서 열대 지역까지 1.1-4.3의 값을 나타낸다고 하였고, Segawa(1956)는 녹조류와 갈조류의 비인 C/P 값이 한대에서 아열대 지역까지 0.4-1.5의 값을 나타낸다고 하였다. Cheney(1977)는 홍조류와 녹조류의 합과 갈조류의 비인 (R+C)/P 값이 3보다 작을 때는 온대성 내지 한대성 해조상을, 6 이상이면 열대성 해조상을, 그리고 그 중간 값이면 혼합 해조상의 특징을 나타낸다고 하였다. 본 연구 결과 이 해역의 R/P 값은 4.47을, C/P 값은 0.59를, (R+C)/P 값은 5.06으로 나타나, 열대성에 가까운 혼합 해조상의 특성을 보인다. 동해 남부 해역에서 조사된 다른 연구와 비교해 보면 일광만의 (R+C)/P 값은 영일만(Nam et al.

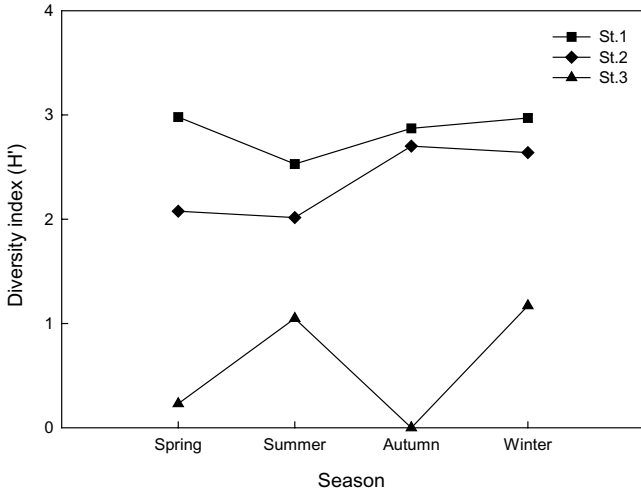


Fig. 2. Seasonal species diversity (H') of each site in Ilkwang Bay, Korea.

1996)을 제외한 나머지 지역보다 높았다(Table 3).

본 연구에서 확인된 해조류의 출현종수는 과거 이 지역 인근의 조사 중 동백섬(Lee and Kang 1971), 기장(Lee et al. 1984), 영일만(Nam et al. 1996)의 연구보다 감소한 것으로 나타났지만, 용호동(Nam and Kim 1999), 동백섬(Yoo 2003a), 서암(Yoo 2003b), 영도(Choi 2007)에 비해서는 비슷하거나 다소 증가하였다. 1970년대~1990년대 중반에서 1990년대 후반~2000년대로 들어서면서 이 지역 인근 해조류 출현종수는 점차 감소하는 경향을 확인 할 수 있다. 이는 Choi(2007)도 언급한 바와 같이 해수온의 상승과 함께 각종 해난사고 증가, 해양공간 이용 등으로 인근 해역 개발 사업이 시행됨으로 오염도가 날로 심각해지면서 연안에 서식하는 해양 생물들의 종조성 및 생물량이 감소된 것으로 판단된다.

일광만의 연평균 생물량은 478.3 g wet weight m⁻²이었다. 생물량에 관한 자료는 각 연구마다 통일된 방법이 아닌 습중량 또는 건중량으로 보고되어 있어 직접적인 비교는 어렵지만, 대략 습중량의 1/5을 건중량으로 환산하면(Taniguchi 1998) 일광만의 생물량은 약 95.7 g dry weight m⁻²이 된다. 이는 기장(Lee et al. 1984)의 242-262 g dry weight m⁻², 영일만(Nam et al. 1996)의 185.5 g dry weight m⁻², 그리고 용호동(Nam and Kim 1999)의 1,241-1,648 g wet weight m⁻²(248.2-329.6 g dry weight m⁻²)보다 현저히 낮은 값으로 측정오차 등을 고려하더라도 본 연구의 해조류 연평균 생물량은 이전의 인근 지역 연구에 비하여 많이 감소했다고 볼 수 있다(Table 3). 가을과 겨울의 경우에는 모자반류와 같은 우점하는 몇 종의 대형 갈조류가 총 생물량에 크게 영향을 주는데, 이것은 이전의 연구결과(Nam and Kim 1999)와 유사하였다.

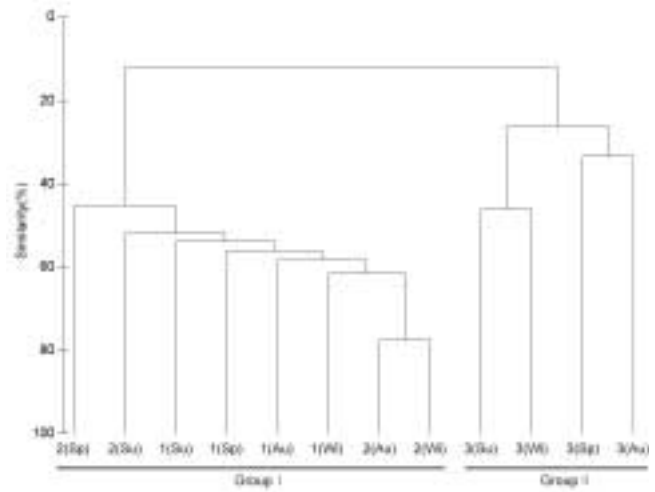


Fig. 3. A dendrogram produced by PRIMER 6 for cluster analysis in Ilkwang Bay, Korea. 1, Site 1; 2, Site 2; 3, Site 3; Sp, Spring; Su, Summer; Au, Autumn; Wi, Winter.

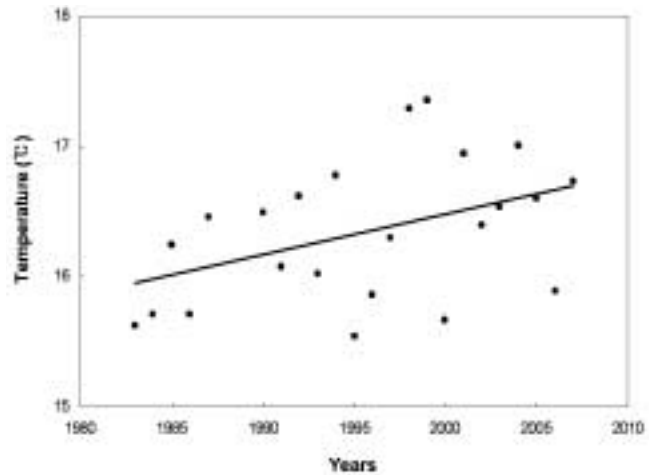


Fig. 4. Increase of temperature with the lapse of time in Ilkwang Bay, Korea (Coefficient of correlation analysis: R = 0.431, P < 0.05) (Data from NFRDI, www.nfrdi.re.kr).

세 정점 중 정점 1의 출현종수가 총 89종으로 가장 많았는데, 이는 Seapy and Littler(1978) 및 Nam et al.(1996)에 의해서도 언급된 것과 같이 파도에 강하게 노출된 물리적 환경 요인에 의한 것으로 생각된다. 또한 Shepherd and Womersley(1981)는 녹조류나 홍조류가 해수의 유동이 강한 곳에서 많이 발견되고, 갈조류는 약한 곳에서 발견되는 분포 특성을 보인다고 하였다. 본 연구 결과에서도 외해로 노출되어 있는 정점 1에서는 홍조류의 비율이 약 79%로, 보호되어 있는 정점 2의 70%에 비해 상대적으로 약간 높게 나타났고, 녹조류는 큰 차이가 없었던 반면에 갈조류의 경우 정점 1에서는 12%, 정점 2가 20%로 큰 차이를 보여 Shepherd and Womersley(1981)의 결과와 유사하였다.

유사도에 근거한 계절별 정점 간의 집괴분석 결과 크게 2개의 그룹으로 나누어졌는데, 유사도 20% 수준에서 정점 1과 2는 그룹 I로 묶였으나 정점 3은 별개의 그룹으로 구분되었다(Fig. 3). 이러한 결과는 정점 3이 다른 두 정점에 비하여 염분이 낮고, 연성저질로 구성되어 있는 환경적 차이에 기인하는 것으로 생각된다.

종다양도지수(H')를 이용하여 군집 안정도 및 환경상태의 평가가 가능하다(Park et al. 2006). Park et al.(2006)의 기준에 따르면 정점 1과 2(종다양도지수, 2.0-3.0)의 군집 안정도는 '불안정' 하고 환경 상태는 '다소 양호' 한 것으로 간주되며, 정점 3(종다양도지수, 0.0-1.2)의 군집 안정도는 '매우 불안정' 하고 환경상태 역시 '매우 나쁜' 것으로 평가된다. 오염 지표종으로 이용되는 파래류와 구멍갈파래(Lee et al. 2007)가 정점 3에서 우점하는 결과도 이를 시사한다.

정점 1과 2에서는 조간대부터 조하대 수심 약 7 m까지 주로 암반과 자갈로 이루어져 있어 모자반 숲 등 해조 군락이 형성되어 있으나 수심 약 7 m 이상의 지역에는 대부분 모래와 빨로 되어 있어 해조류 식생이 매우 빈약하였다. 또한 정점 1에서는 봄에 무절석회조류가 다른 해조류에 비하여 상대적으로 높은 중요도로 출현하였다. 갯녹음은 수온, 영양염, 파랑 등과 같은 해양변동에 의해서 유발되고 조식동물의 섭식압과 석회조 자신의 표층박리에 의해 가속화되는데(Taniguchi 1998), 현재 일광만 해역은 무절석회조가 다른 해조에 비해 월등하게 우점하는 상태는 아니지만, 해조류 채집시 주변에 조식동물인 성게와 복족류가 다수 서식하고 있었고, 조사지역의 수온 상승 경향은 해를 거듭할수록 지속하는 경향을 보일 것으로 보여(Fig. 4), 연안의 환경오염과 함께 갯녹음 현상은 심화될 것으로 예상된다.

결론적으로, 일광만 해조식생은 이전의 연구에 비하여 대체적으로 빈약해졌는데, 이러한 해조류 종다양도 및 생물량 감소경향은 갯녹음의 진행과 함께 더욱 가속화 될 것으로 생각된다. 따라서 CO₂ 제거 벨트로서의 이 지역 해조 식생을 보전하기 위해서는 주기적인 모니터링과 함께 해중립 조성 및 유지 관리 등 보다 적극적인 관심이 기울여져야 할 것으로 생각된다.

사 사

이 연구는 국토해양부 '해조류를 이용한 온실가스 저감기술 개발' 연구개발 사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었다.

참고문헌

Cheney D.P. 1977. R & C/P - A new and improved ratio for

- comparing seaweed floras. *J. Phycol. (Suppl.)* **13**: 129.
- Choi C.G. 2007. Algal flora and *Ecklonia stolonifera* Okamura (Laminariaceae) population of Youngdo in Busan, Korea. *Algae* **22**: 313-318.
- Feldmann J. 1937. Recherches sur la vegetation marine de la Mediterranee. *La cote des Alveres. Rev. Algol.* **10**: 1-339.
- Kang J.W. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull. Pusan Fish. Coll.* **7**: 1-125.
- Kim Y.H. and Lee J.H. 1980. A study on the marine algae at the coast of Kori Nuclear Power Plant. 1. Variation of algal community during 1977-1978. *Korean J. Bot.* **23**: 3-10.
- Kim Y.H. and Lee J.H. 1981. Intertidal marine algal community and species composition of Wolseong area, east coast of Korea. *Korean J. Bot.* **24**: 145-158.
- Lee I.K. and Kang J.W. 1986. A check list of marine algae in Korea. *Korean J. Phycol.* **1**: 311-325.
- Lee I.K., Kim H.S., Koh C.H., Kang J.W., Hong S.Y., Boo S.M., Kim I.H. and Kang Y.C. 1984. Studies on the marine benthic communities in inter- and subtidal zone II. Qualitative and quantitative analysis of the community structure in south-eastern coast of Korea. *Proc. Coll. Natur. Sci., SNU* **9**: 71-126.
- Lee K.H., Yoo H.I. and Choi H.G. 2007. Seasonal community structure and vertical distribution of medicinal seaweeds at Kkotji in Taean Peninsula, Korea. *Algae* **22**: 209-219.
- Lee K.W. 1972. Annual variation of marine algae flora at Dongbaeksum. *Bull. Fish. Jeju Univ.* **1**: 8-16.
- Lee K.W. 1974. Observation of algal community near Dongbaeksum, Haeundae. *Bull. Fish. Jeju Univ.* **5**: 319-331.
- Lee K.W. and Kang J.W. 1971. A preliminary survey of the algal flora and communities of Dongbaeksum, Pusan. *Publ. Mar. Lab. Pusan Fish. Coll.* **4**: 29-37.
- Lee Y.P. and Kang S.Y. 2002. *A Catalogue of the Seaweeds in Korea*. Cheju National University Press. Cheju. 662 pp.
- Mueller-Dombois D. and Ellenberg H. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. New York. Wiley. 547 pp.
- Nam K.W. and Kim Y.S. 1999. Benthic marine algal flora and community structure of Yongho-dong area in Pusan, Korea. *J. Korean Fish. Soc.* **32**: 374-384.
- Nam K.W., Kim Y.S., Kim Y.H. and Sohn C.H. 1996. Benthic marine algae in the east coast of Korea: flora, distribution and community structure. *J. Korean Fish. Soc.* **29**: 727-743.
- Park Y.G., Seo G.S. and Choi C.G. 2006. *Environmental Biology*. Daehakseorim. Seoul. 463 pp.
- Saito Y. and Atobe S. 1970. Phytosociological study of intertidal marine algae. 1. Usujiri Benten-Jima, Hokkaido. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* **21**: 37-69.
- Seapy R.R. and Littler M.M. 1978. The distribution, abundance, community structure, and primary productivity of macro-organisms from two central California rocky intertidal habitats. *Pac. Sci.* **32**: 293-314.
- Segawa S. 1956. *Coloured Illustrations of the Seaweeds of Japan*. Hoikusha Publ. Co. Osaka. 195 pp.
- Shepherd P.H.A. and Womersley H.B.S. 1981. The algal and seagrass ecology of Waterloo Bay, South Australia. *Aquat. Bot.* **11**: 305-371.

- Taniguchi K. 1998. *From "Isoyake" to Kelp Forest*. Shokabo, 196 pp.
- Yoo J.S. 2003a. Biodiversity and community structure of marine benthic organisms in the rocky shore of Dongbaekseom, Busan. *Algae* **18**: 225-232.
- Yoo J.S. 2003b. Dynamics of marine benthic community in

intertidal zone of Seoam, Busan. *J. Korean Soc. Oceanogr.* **8**: 420-425.

Received 24 July 2008

Accepted 27 October 2008