

화원관광단지 인공 해변의 해조상

박 찬 선 · 박 경 양 · 황 은 경^{1,*}

국립목포대학교 해양수산자원학과, ¹국립수산과학원 해조류바이오연구센터

Benthic Algal Flora in a Man-made Artificial Beach in the Hwawon Resort Complex, Southwestern Coast of Korea

Chan Sun Park, Kyung Yang Park and Eun Kyoung Hwang^{1,*}

Department of Marine and Fisheries Resources, Mokpo National University,
Muan-gun, Jeonnam 534-729, Korea

¹Seaweed Research Center, National Fisheries Research & Development Institute,
Mokpo, Jeonnam 530-831, Korea

Abstract - Qualitative and quantitative algal survey was conducted from March 2010 to December 2010 on a man-made artificial beach in the Hwawon Resort Complex in order to understand seasonal changes of algal flora. The seasonal change of algal vegetation was compared with intact natural habitat near from the experimental sites. Total 15 algal species were found at the artificial beach; 8 Chlorophyta, 3 Phaeophyta and 4 Rhodophyta. And 38 algal species were found at the natural habitat; 7 Chlorophyta, 9 Phaeophyta and 22 Rhodophyta. Dominant algal species at the artificial beach were *Ulva compressa*, *U. intestinalis*, *U. prolifera*, *U. pertusa* in winter and *Urospora penicilliformis*, *U. intestinalis*, *U. compressa* in summer. In natural habitat, dominant algal species were *U. pertusa*, *U. compressa* in winter and *Sargassum thunbergii*, *Ishige okamurae* in summer. (R+C)/P explaining spatial distribution of seaweeds was 3.7~4.0 (warm-temperature) in the artificial beach and 2.6~3.4 (polar-temperate) in the natural habitat, respectively. The flora of artificial beach could be classified into the filamentous form (64.4%), the sheet form (21.9%), and the coarsely branched form (13.7%). There was significant difference from the two habitats representing dominant species, distributions and ratio of functional-form groups.

Key words : algal flora, artificial beach, spatio-temporal variability, seasonal pattern

서 론

해조류는 일생을 한 곳에 부착 서식하는 생태적 특성으로 인하여 이동 또는 유영능력을 갖고 있는 해양 생물들 보다 서식지의 환경 변화에 따른 영향이 지속적으로 노출 및 축적되므로 서식 환경의 영향 또는 변화를

잘 반영해준다 (Wright *et al.* 1971; Levine 1984; Haglund *et al.* 1996). 또한, 해조류의 생육은 생활사가 짧은 1~2년생인 종이 대부분이어서, 새로운 서식지가 주어지더라도 2~3년 이내에 종수가 최고에 달하여 (Saito *et al.* 1976), 육상식물보다 극상에 도달하는 시간이 빠르기 때문에 특정 서식지의 해조군집 변화 양상을 모니터링 함으로써 그 곳에서 일어나는 생태계의 환경 변화 양상을 총체적으로 파악할 수 있다. 이러한 점에서 저서 해조류는 새로운 서식지의 환경 변화를 파악할 수 있는 가장 적합

* Corresponding author: Eun Kyoung Hwang, Tel. 061-280-4720,
Fax. 061-285-1949, E-mail. ekh215@korea.kr, ekhwang@hotmail.com

한 지표생물이라 할 것이다 (Vasquez and Guerra 1996).

일반적으로 해조류의 서식 및 생육에 영향을 미치는 기본적인 환경요인으로는 물리, 화학, 생물 그리고 역학적 제어인들이 복합적으로 작용하므로 (Park *et al.* 2012), 환경요인에 따른 해조군집의 특성을 해석하기란 단순한 문제가 아니다. 따라서 해조상을 조사할 때 인위적인 작용으로 인한 영향과 자연 공간적, 시간적 변화에 의한 인과관계를 구별하는 노력이 필요하다 (Morgan and Grant 1989). 인위적 서식환경 변화에 따른 해조류 식생의 구조적 변화에 대한 연구는 영국의 Durham 지방에서 연안의 공업화, 도시화에 따른 오염으로 인한 해조류의 종수 및 다양도의 시간적, 공간적 변화를 과거의 자료와 비교하여 조사한 바 있고 (Edwards 1975), Borowitzka (1972)는 해조식생의 환경오염에 대한 영향의 정도를 종 다양성 분석을 통하여 해석하고자 하였다. Hirose (1977)는 해조식생과 유기물 오염의 관계에 있어서 화학적 산소 요구량(COD)이 증가함에 따라 일반적으로 투명도는 감소하고 질소 및 인이 증가하므로 다른 요인들 중에서도 화학적 산소요구량이 유기물 오염의 대표되는 환경요소라고도 하였다. 이렇듯 다양한 환경요인의 영향에 대한 해조 식생의 변화 양상에 대한 연구들은 많으나, 본 연구에서와 같이 간만의 차이가 큰 연안에 간조시 바닷물을 가두는 잠제 (submerged waterbreak)를 이용하여 인공으로 해변을 조성할 경우 수온, 영양염, 탁도, 파랑 등의 해양 물리 화학적 환경은 인공해수욕장 내측과 외측에 있어 큰 차이를 보이는데 (KTO 2010), 이와 같이 인공으로 조성된 새로운 서식지에서 해조류의 계절적 변화에 대한 연구는 매우 적다.

따라서 본 연구에서는 전남 해남화원관광단지 내에 인공적으로 조성된 방조제 내측에 분포하는 해조류의 출현종, 현존량, 계절성 및 분포 특성을 인근의 자연 서식지의 해조 군집과 비교함으로써 인공적으로 조성된 새로운 서식지에서 해조류의 계절적 변화 양상에 대한 기초 자료를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 개관

전남 해남군 화원면 주광리와 주봉리 일원에는 부지 5,084,000 m² 규모의 화원관광단지가 위치해 있고, 1998년 6월 30일 관광단지 남측 해안에 인공해수욕장이 조성되었다. 해수욕장의 길이는 1,200 m, 면적은 약 123,200 m²이며, 해안에서 약 180 m 전방에 약 800 m 길이의 방

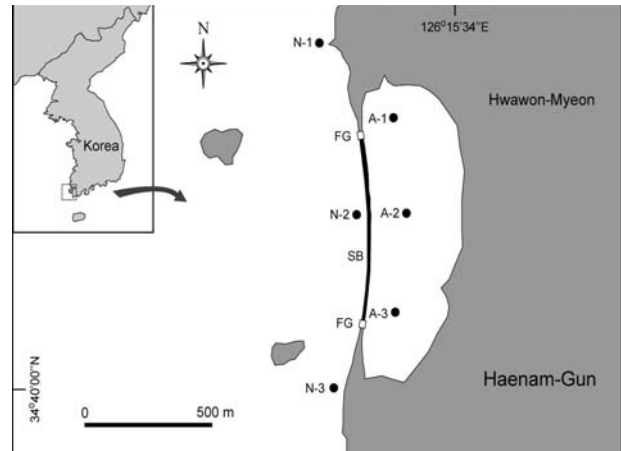


Fig. 1. A map showing sampling sites in the Hwawon Resort Complex, Haenam in the southwestern coast of Korea. A: artificial beach. N: natural habitat. FG: floodgate. SB: submerged breakwater.

조제가 축조되어 있다. 이 방조제는 파도에 의한 해변의 모래 유실을 방지하고, 썰물 때 바닷물이 빠져나가는 것을 방지하는 기능을 갖도록 설계되어, 대조시의 만조 때에는 바닷물 속에 잠기는 잠제 형태로 설계되어 있다. 방조제의 북측과 남측 끝에는 폭 10m의 수문이 설치되어 있어 바닷물을 인위적으로 유통시킬 수 있도록 되어 있다 (Fig. 1).

2. 연구 기간 및 정점

현장 조사는 2010년 3월부터 2010년 12월 사이의 4계절 [봄(3월), 여름(6월), 가을(9월), 겨울(12월)]에 걸쳐 실시하였다. 조사 지역은 화원관광단지 내에 인공으로 조성된 해수욕장의 내측과 해수욕장 외측의 인근연안지역을 대상으로 하였으며, 조사 정점은 조사 지역에서 해조류의 서식 특이성을 가장 잘 반영할 수 있는 곳으로 해수욕장 내측에서 3 정점 (A-1~A-3)과 외측의 인근연안지역에서 3 정점 (N-1~N-3) 총 6 정점으로 하였다 (Fig. 1).

3. 조사 내용

정성 조사에서는 각 조사 정점에서 출현한 해조류 종의 목록 및 분포 특징을 기록하고 채집하였다. 채집된 시료는 현장에서 5~10% 중성포르말린-해수 용액으로 고정 후 전량을 연구실로 운반하여 표본 제작 및 동정하였다. 동정 작업 중 내부 구조를 관찰할 필요가 있는 경우에는 해조류 엽체의 절편 제작 후 광학현미경 (Axio Scope A1, Carl Zeiss, Germany)으로 검경하였다. 해조류

의 목록 정리는 Lee and Kang (1986) 및 Lee and Kang (2002)의 분류체계를 참고하여 녹조류, 갈조류 및 홍조류의 순으로 배열하고 정리하였다.

정량 조사는 조사 정점별 해조 생육 상한선을 기준으로 저조선을 향하여 가상적인 선을 그은 후, 50×50 cm 방형구(10×10 cm의 소방형구 25개로 구획)를 조간대 상부에서부터 하부로 옮겨가면서 방형구내 출현하는 종들의 빈도와 피도를 구하였다. 조사선은 해안선으로부터 직선으로 바다 방향으로 설정하는 것이 바람직하나, 직선으로 설정하기 어려운 경우에는 이동할 수 있는 경로를 따라 설정하였다. 군집의 우점종 파악을 위한 중요도 값의 계산은 출현종의 상대피도(relative coverage, RC)와 상대빈도(relative frequency, RF)를 기초로 Mueller-Dombois and Ellenberg (1974)의 방법과 같은 수식 [(RC)+(RF)/2]을 이용하였다.

조사 정점의 우점종과 준우점종의 구분은 해조류 군집 분석 자료인 중요도 값(Importance Value: IV)을 기준으로 하였다. 주요 우점종의 현존량 조사는 조사 정점에서 50×50 cm 방형구내에 출현하는 해조류를 전량 채집하여 연구실로 운반하여 담수로 충분히 씻어 모래, 암석 등 잡물을 제거한 다음 주요 우점종을 80°C에서 48시간 동안 건조시킨 후에 건중량을 측정하고, 이를 단위 면적당(g-dry wt. m⁻²)으로 환산하였다(Wetzel and Westlake 1974).

해수욕장 내측에 출현하는 해조류의 생태적 특성을 파악하기 위해 해수욕장 외측 인근에 출현하는 해조류의 기능형군(Littler and Littler 1984; Hwang *et al.* 1996)과 R/P 값[홍조류와 갈조류의 비(Feldmann 1937)] 및 (R+C)/P 값[홍조류+녹조류와 갈조류의 비(Cheney 1977)]을 비교 분석하였다.

결 과

1. 출현종

본 조사에서 채집 동정된 해조류는 총 39종으로 녹조류 8종, 갈조류 9종, 홍조류 22종이었다(Table 1). 조사 정점별 해조류의 출현종 수는 인공 해빈에서 녹조류 8종, 갈조류 3종, 홍조류 4종으로 총 15종, 자연 서식지에서 녹조류 7종, 갈조류 9종, 홍조류 22종 총 38종으로 인공 해빈에서 출현한 해조류의 종 수가 자연 서식지 해조류의 출현 종수보다 적었다. 계절별 해조류의 출현종 수는 인공 해빈에서 봄철(3월)에 10~13종, 여름철(6월)에 8~9종, 가을철(9월)에 7종, 겨울철(12월)에 10~11

종이었으며, 자연 서식지에서 봄철(3월)에 17~31종, 여름철(6월)에 14~28종, 가을철(9월)에 19~20종, 겨울철(12월)에 20~28종으로 나타났다. 계절별 출현종 수는 인공 해빈 및 자연서식지 모두에서 봄>겨울>여름>가을 순으로 높게 나타났다.

2. 우점종

인공 해빈과 자연 서식지에서 조사된 중요도 값이 5 이상의 해조류는 Table 2와 같다. 인공 해빈에서 봄과 여름철의 주요 우점종인 초록털말(*Urospora penicilliformis*)의 중요도는 75~98로 매우 높았으나, 가을과 겨울철에는 우점하지 않아 계절별 뚜렷한 시계열성을 나타내었다. 그 외에 납작파래(*Ulva compressa*), 창자파래(*U. intestinalis*) 및 구멍갈파래(*U. pertusa*)가 4계절 동안 각각 5~17, 5~18, 5~19의 중요도를 보였다. 또한 가시파래(*U. prolifera*)는 가을철을 제외한 봄, 여름 및 겨울철에는 5~25의 중요도를 나타내어, 인공 해빈에서의 주요 우점종은 단년생 녹조류인 초록털말과 파래류로 나타났다. 자연 서식지에서는 봄철과 겨울철에 단년생 파래류가 우점하고, 여름철과 가을철에는 다년생 대형갈조류와 홍조류 가사리류가 우점하는 것으로 나타났다.

계절별 주요 우점종의 현존량 변화는 Table 3과 같다. 인공 해빈에서 초록털말(*U. penicilliformis*)은 봄과 여름철에 각각 198~226 및 337~394 g·dry wt.·m⁻²으로 가장 높은 값을 보였으나, 가을과 겨울에는 출현하지 않았으며 납작파래와 구멍갈파래가 각각 16~36, 29~56 g·dry wt.·m⁻²의 현존량을 보였다. 자연 서식지의 경우 지충이(*S. thunbergii*)는 여름철에 236~321 g·dry wt.·m⁻², 가을철에 181~199 g·dry wt.·m⁻², 봄철에 152~178 g·dry wt.·m⁻², 겨울철에 73~84 g·dry wt.·m⁻²의 순으로 높은 현존량을 보였고, 납작파래(*U. compressa*)와 구멍갈파래(*U. pertusa*)는 여름과 가을철에 각각 13~17, 31~43 g·dry wt.·m⁻²으로 봄과 겨울철의 21~47, 48~71 g·dry wt.·m⁻²보다 낮은 값을 보였다.

3. 분포 특성

인공 해빈과 자연 서식지의 계절별 해조군집의 수직 분포는 Table 4와 같다. 인공 해빈의 경우 봄철 해조군집의 조간대 수직분포는 초록실>초록털말>구멍갈파래 순이었고, 겨울철에는 김파래>가시파래>구멍갈파래 순이었다. 자연 서식지의 경우 봄철에 애기가시덤불>참산호말>참도박 순이었고, 겨울철에는 매생이>검은서실>참보라색우무 순으로 나타났다.

Table 1. A list of marine algae investigated in the 6 stations of Haenam in the southwestern coast of Korea

Species	Spring (March)			Summer (June)			Autumn (September)			Winter (December)						
	Station			Station			Station			Station						
	A	N		A	N		A	N		A	N					
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Chlorophyta																
<i>Ulothrix flacca</i>	+	+	+	+			+						+			
<i>Caposiphon fulvescens</i>	+	+	+	+			+						+	+	+	
<i>Enteromorpha compressa</i>	+	+	+	+			+	+	+		+	+	+	+	+	
<i>E. intestinalis</i>	+	+	+		+		+	+	+		+	+	+	+	+	
<i>E. prolifera</i>	+	+	+	+	+		+	+	+	+			+	+	+	
<i>Ulva pertusa</i>	+		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Urospora pencilliformis</i>	+	+	+				+	+	+				+	+	+	
<i>Cladophora japonica</i>	+			+					+	+			+	+	+	
Phaeophyta																
<i>Ectocarpus arctus</i>	+	+	+	+	+		+	+	+	+			+	+	+	
<i>Ishige okamurae</i>				+	+				+	+	+		+	+		
<i>Leathesia difformis</i>	+			+	+	+			+	+					+	
<i>Scytosiphon lomentaria</i>		+	+	+	+		+	+					+	+	+	
<i>Myelophycus simplex</i>							+	+	+				+	+		
<i>Sphacelaria californica</i>				+	+	+			+	+					+	
<i>Dictyopteris divaricata</i>				+					+				+	+		
<i>Pelvetia siliquosa</i>							+		+				+	+		
<i>Sargassum thunbergii</i>				+	+	+			+	+	+		+	+	+	
Rhodophyta																
<i>Bangia atropurpurea</i>	+	+	+	+	+	+								+	+	
<i>Porphyra suborbiculata</i>	+			+	+										+	
<i>P. yezoensis</i>				+	+										+	
<i>Gelidium amansii</i>				+	+				+	+				+	+	
<i>G. divaricatum</i>				+					+				+	+		
<i>Corallina officinalis</i>				+					+				+	+		
<i>Hildenbrandtia dawsonii</i>				+	+	+			+	+	+		+	+	+	
<i>C. pilulifera</i>				+	+				+	+	+		+	+	+	
<i>Carpopeltis affinis</i>				+					+				+	+		
<i>Grateloupia divaricata</i>				+					+				+	+		
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>				+					+				+	+		
<i>Gloiopeltis complanata</i>				+		+			+		+				+	
<i>Gloiopeltis furcata</i>				+		+			+		+				+	
<i>Caulacanthus okamurae</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Gracilaria verrucosa</i>				+		+	+	+	+		+	+	+	+		
<i>Chondrus ocellatus</i>				+	+				+	+			+	+	+	
<i>Gigartina tenella</i>				+	+	+			+	+	+		+	+	+	
<i>Heterosiphonia japonica</i>				+	+				+	+			+	+		
<i>Chondria crassicaulis</i>				+	+				+	+	+		+		+	
<i>Laurencia intermedia</i>					+	+			+	+					+	
<i>Polysiphonia japonica</i>				+	+	+			+	+	+		+	+	+	
<i>Symphyclocladia latiuscula</i>				+	+				+	+			+	+	+	
Chlorophyta	8	6	7	4	3	5	5	4	5	3	3	3	3	3	3	3
Phaeophyta	2	2	2	6	6	5	2	2	2	7	4	6	2	2	2	5
Rhodophyta	3	2	2	21	8	14	2	2	2	18	7	13	2	2	2	12
Total	13	10	11	31	17	24	9	8	9	28	14	22	7	7	7	20

A: artificial beach. N: natural habitat.

4. 기능형군

인공 해빈과 자연 서식지의 기능형군별 구성비는 Table 5와 같다. 인공 해빈에서 해조류의 기능형군별 구성비는 사상형 64.4%, 엽상형 21.9% 및 직립분기형

13.7%이었으며, 다육질형, 유절산호말형 및 각상형은 출현하지 않았다. 자연 서식지에서 해조류의 기능형군별 구성비는 사상형 34.9%, 직립분기형 30.8%, 엽상형 20.8%, 다육질형 5.2%, 유절산호말형 5.2% 및 각상형 3.1% 순이었다.

Table 2. The important value (more than 5) of dominant species investigated in the 6 stations of Haenam in the southwestern coast of Korea

Species	Station	Spring (March)			Summer (June)			Autumn (September)			Winter (December)																
		A			N			A			N																
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3														
Chlorophyta																											
<i>Enteromorpha compressa</i>		12	17	12	8		7	11	9	13		6	5	5	6	5		5	5	12	16	14	51	54			
<i>E. intestinalis</i>		15	18	13		10		15	14	11		8		5	5	5	5	5		16	17	15		25	32		
<i>E. prolifera</i>		19	13	13		15	13	10	7	8	5									21	24	25		41	23		
<i>Ulva pertusa</i>		15		12		10	12	6		8	6	6	5	5	5	5	7	9	7	19	10	18	85	73	79		
<i>Urospora pencilliformis</i>		79	75	81				96	98	98																	
Phaeophyta																											
<i>Ishige okamurae</i>						7	8					15	18	16				12		14				5		6	
<i>Leathesia difformis</i>		5				5	5	6	7				6	7					5					5	6	5	
<i>Scytosiphon lomentaria</i>			6	7					5	5	9	10			5	6	5				5	5	5				
<i>Myelophycus simplex</i>												5	5	7				6		8				5		5	
<i>Dictyopteris divaricata</i>						5						6					5	6					6	6			
<i>Sargassum thunbergii</i>						7	8	10					15	19	17				6	7	6				8	8	9
Rhodophyta																											
<i>Gelidium amansii</i>						6		7					10		12				6		6				5		5
<i>Corallina officinalis</i>						5						5					6	6					5	5			
<i>C. pilulifera</i>						6		7					6		7				5	5	5				6	6	6
<i>Carpopeltis affinis</i>						5						6					5						5	6			
<i>Pachymeniopsis elliptica</i>						5						5					5	5					5	5			
<i>Gloiopeltis furcata</i>						6		7					5		6												
<i>Caulacanthus okamurae</i>		6	5	6	6	5	6	5	5	5	5	6	6	6	5	5	5	6	6	6	5	5	5	5	5	5	
<i>Gracilaria verrucosa</i>						5		5	5	5	5	7		8	5	5	5	6		7							
<i>Chondrus ocellatus</i>						5		6					6		7				6	6	6				7		7
<i>Gigartina tenella</i>						5		5					6	6	6				7	7	7				6		6
<i>Chondria crassicaulis</i>						7	6						8	6	7				5						5	6	5
<i>Symphyocladia latiuscula</i>						7	8						9		10				8		9				6		7

A: artificial beach. N: natural habitat.

Table 3. Biomass (g · dry wt. m⁻²) of dominant species investigated in the 6 stations of Haenam in the southwestern coast of Korea

Species / Station	Habitat	Spring (March)			Summer (June)			Autumn (September)			Winter (December)																
		A			N			A			N																
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3														
<i>Enteromorpha compressa</i>		29	32	38	21		19	23	16	19		13	16	18	21	16		14	17	36	31	34	47	45			
<i>Ulva pertusa</i>		75		62		54	48	42		37	33	41	38	37	36	29	43	38	31	56	51	46	62	71	68		
<i>Urospora pencilliformis</i>		212	198	226				353	394	337																	
<i>Sargassum thunbergii</i>						152	178	165					272	236	321				192	181	199				75	84	73

A: artificial beach. N: natural habitat.

Table 4. The vertical distribution of algae in intertidal zone at artificial and natural habitates of Haenam in the southwestern coast of Korea

Habitat / Season	Vertical zone			
	Upper	Middle	Lower	
Artificial beach	Spring (March)	<i>Ulothrix flacca</i>	<i>Urospora pencilliformis</i>	<i>Ulva pertusa</i>
	Summer (June)	<i>Urospora pencilliformis</i>	<i>Enteromorpha intestinalis</i>	<i>Ulva pertusa</i>
	Autumn (September)	<i>Enteromorpha compressa</i>	<i>Scytosiphon lomentaria</i>	<i>Ulva pertusa</i>
	Winter (December)	<i>Bangia atropurpurea</i>	<i>Enteromorpha prolifera</i>	<i>Ulva pertusa</i>
Natural habitat	Spring (March)	<i>Caulacanthus okamurae</i>	<i>Corallina officinalis</i>	<i>Grateloupia elliptica</i>
	Summer (June)	<i>Gloiopeltis furcata</i>	<i>Sargassum thunbergii</i>	<i>Gelidium amansii</i>
	Autumn (September)	<i>Ishige okamurae</i>	<i>Chondrus ocellatus</i>	<i>Grateloupia elliptica</i>
	Winter (December)	<i>Capsosiphon fulvescens</i>	<i>Laurencia intermedia</i>	<i>Symphyocladia latiuscula</i>

Table 5. Composition ratio (%) of macroalgal functional form group investigated in the 6 stations of Haenam in the southwestern coast of Korea. S, sheet form; F, filamentous form; CB, coarsely branched form; TL, thick leathery form; JC, jointed calcareous form; C, crustose form

Habitat / Station	Functional form group (%)						Flora characteristics ratio		
	S	F	CB	TL	JC	C	R/P	(R+C)/P	
Artificial beach	1	30.8	53.8	15.4	0	0	0	1.3	4.0
	2	18.2	72.7	9.1	0	0	0	1.3	3.7
	3	16.7	66.6	16.7	0	0	0	1.3	4.0
Mean	21.9	64.4	13.7	0	0	0	1.3	3.9	
Natural habitat	1	19.4	33.3	33.3	5.6	5.6	2.8	2.6	3.5
	2	24.1	31.0	27.6	6.9	6.9	3.5	2.1	2.6
	3	18.8	40.6	31.3	3.1	3.1	3.1	2.0	2.9
Mean	20.8	34.9	30.8	5.2	5.2	3.1	2.2	3.0	

5. R/P와 (R+C)/P 값

인공 해변의 조사 정점에서 해조류의 R/P 값은 1.3이었고, (R+C)/P 값의 범위는 3.7~4.0이었으며, 평균값은 3.9이었다. 반면, 자연 서식지의 조사 정점에서 해조류의 R/P 값의 범위는 2.0~2.6이었고, 평균값은 2.2이었으며, (R+C)/P 값의 범위는 2.6~3.5, 평균값은 3.0이었다 (Table 5).

고찰

인공 해변은 저서성 해양 군집의 생태계 발달과 천이에 관한 연구들을 위한 편리한 시험 장소로 그 가치가 높다. 저서성 해조류는 부착 기질, 수온, 염분, 탁도, 노출, 건조, 조류의 세기, 영양염, 수질, 경쟁종, 식해 등의 다양한 물리, 화학, 생물학적 환경요소에 의해 출현종, 우점종, 현존량, 기능형군 등의 시공간적 양상이 달라지게 된다 (Best *et al.* 2001; Park and Hwang 2011).

본 연구의 조사지역에서 인공 해변은 간만의 차이가 크고, 간석지가 발달되어 있어 수온과 염분의 변화 폭이 매우 크고, 저질의 불안정으로 인하여 해조류의 서식에 불리한 측면도 있을 수 있다 (KTO 2010). 그러나 인공 해변의 해상에 설치된 잠재로 인하여 파도의 영향이 작고, 영양염 공급이 원활하며, 주기적 양변으로 식해생물 및 경쟁종이 적다는 유리한 측면이 공존하고 있는 것으로 분석되었다 (KTO 2010). 본 연구 결과, 인공 해변의 서식환경에 적응하여 생육하고 있는 해조류는 15종으로 나타나 자연 서식지에서 생육하고 있는 해조류 38종의 절반에도 미치지 못한 것으로 나타났다. 또한, 인공 해변에 출현하는 주요 우점종은 초록털말 (*U. pennisiformis*), 가시파래 (*U. prolifera*), 납작파래 (*U. compressa*), 구멍갈

파래 (*U. pertusa*)와 단년생 녹조류인 초록털말과 파래류로 자연 서식지의 주요 우점종인 단년생 대형갈조류 및 홍조류 가시리류와는 다른 양상을 보였다. 이러한 우점종 출현 양상의 차이는 계절에 따라 더욱 뚜렷하였는데, 이와 같은 차이는 인공 해변의 환경과 자연 서식지의 환경이 서로 달라 인공 해변의 경우 기회종 (opportunistic species)으로 분류되는 일년생 해조류 및 수명이 짧고, 광합성률과 생장률이 빠른 해조류가 우점하여 출현하기 때문인 것으로 보인다 (Hawkins 1981).

해조 군집의 생태적 특성을 파악하기 위한 척도중 하나로 출현하는 해조류의 분류군별 종수에 근거한 R/P 그리고 (R+C)/P의 지수가 사용되고 있다. R/P 지수는 한 대 지역의 해조군집의 경우 1.1 이하, 열대지역의 경우 4.3 이상으로 구분이 된다. 또한 (R+C)/P 지수는 온대성 또는 한대성 해조군집의 경우 3보다 작고, 열대성 해조군집의 경우 6 이상이고, 그 중간 값을 혼합성 해조군집으로 구분하고 있다 (Segawa 1956). 우리나라 서남해안 인근도서 어청도 (Kim 1978)와 하태도 (Oh and Lee 1989)에서 조사된 (R+C)/P 값은 각각 2.0과 3.8이었으며, Kang (1966)은 남해도와 서해도가 각각 3.4와 3.2로 온대성 해조상에 가까운 혼합성 해조군집의 생태적 특성을 보이는 것으로 분석한 바 있다. 본 연구에서는 인공 해변에서 해조류의 R/P 값과 (R+C)/P 값이 각각 1.3과 3.9로 자연 서식지의 2.2와 3.0으로 R/P 값의 경우 인공 해변에서 보다 자연 서식지가 상대적으로 높았다. 또한 (R+C)/P 값은 자연 서식지에서 보다 인공 해변에서 상대적으로 높은 것으로 분석되었으나, 인공 해변과 자연 서식지의 해조군집은 모두 온대성과 열대성의 혼합해조군집에 속하는 생태적 특성을 가지는 것으로 나타났다. Sohn (1987)과 Hwang *et al.* (1996)은 우리나라 서해안과 남해안에 서식하는 해조류의 기능형군별 구성비를 직접분기

형 (38.3, 41.5)-사상형 (28.8, 24.5)-엽상형 (13.8, 15.2)-다육질형 (11.7, 13.3)-각상형 (3.9, 3.3)-유절산호말형 (3.7, 2.9)으로 보고하였다. 본 연구에서 자연 서식지의 기능형군별 구성비는 사상형 34.9% > 직립분기형 30.8% > 엽상형 20.8% > 다육질형 5.2% > 유절산호말형 5.2% > 각상형 3.1% 순으로 서남해안의 기능형군별 구성비와 유사한 구성 비율을 보였으나, 인공 해변에서의 기능형군별 구성비는 사상형 64.4%, 엽상형 21.9%, 직립분기형 13.7%, 다육질형 0%, 유절산호말형 0%, 각상형 0%로, 우리나라 서남해안의 일반적인 자연 서식지와 비교할 때 상대적으로 단순한 기능형군별 구성을 보였으며, 사상형군의 비율이 매우 높은 특징을 나타내었다. 이와 같은 인공 해변과 자연 서식지에서 해조류 기능형군의 구성 비율 차이는 인공 해변이라는 독특한 서식환경에 적응하여 생육하는 해조류와 자연 서식지에서 생육하고 있는 해조상의 차이를 보여준다고 하겠다 (Littler and Littler 1980).

우리나라 서남해안의 경성기질에 서식하는 해조류의 대상 분포는 일반적으로 조간대 상부에 불등불가사리, 풀가사리, 바위수염, 고리매, 패, 애기가시덤불, 애기우뚝가사리, 중부에 구멍갈파래, 개서실, 지층이, 툫, 넓패, 하부에 대형 갈조군인 비틀대모자반, 미역, 다시마, 툽니모자반 (Sohn *et al.* 1982; Kang *et al.* 1993; Park *et al.* 2007) 등이다. 본 조사지역의 인공 해변의 경우 봄철에는 대상 분포가 초록실 > 초록털말 > 구멍갈파래 순이었고, 겨울철에는 김파래 > 가시파래 > 구멍갈파래 순으로 매우 다른 양상을 보였다. 이러한 양상은 동일한 해역일지라도 인공적으로 조성된 해변이라는 독특한 서식지 환경 조건, 즉 기질의 종류와 상태, 파도의 영향의 정도, 수온 변화의 정도, 영양염의 공급 정도, 서식 공간의 경쟁 등 다양한 생물 또는 무생물적 환경 조건의 차이에서 기인된 것으로 보인다 (Park and Hwang 2011).

연성기질의 서식지에서 해조류의 번무는 비교적 기질의 교란이 없는 안정된 곳에서 가능하다. 실제로 서식지의 물리적 교란은 해조류 자체의 포자 착생을 원천적으로 방해할 뿐만 아니라, 교란시 유발되는 탁도 증가는 해조류의 생존율에 큰 영향을 미친다 (Airoldi and Cinelli 1997). 연안지역에 있어 탁도의 증가는 주로 강한 바람에 의한 저질의 부유, 준설 및 홍수와 같은 요인에 의해 발생한다 (Zimmerman *et al.* 1991; Moore *et al.* 1997). 광부족에 대한 해산식물의 내성은 종에 따라 다르나, *Halophila*와 같은 해초류는 광 부족 조건에서 1개월 정도 밖에 생존할 수 없는 것으로 알려져 있다 (Longstaff *et al.* 1999). Moore *et al.* (1997)에 따르면 해조류는 장시간 동

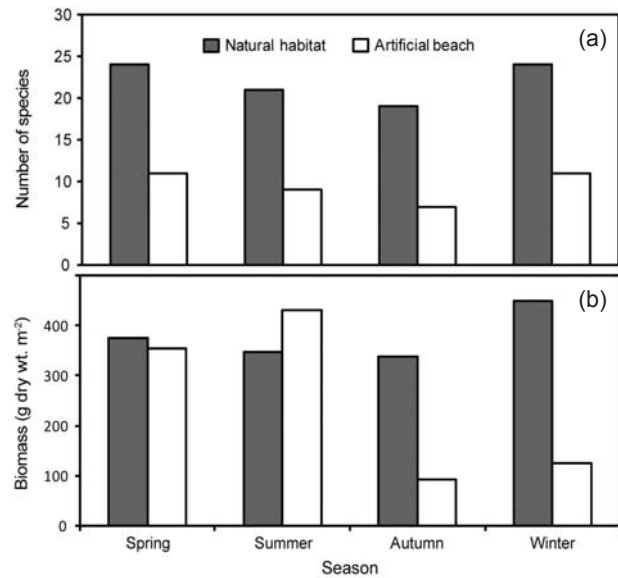


Fig. 2. Seasonal changes of number of species (a) and biomass (b) in the artificial beach and natural habitat at the Hwawon Resort Complex, Haenam in the southwestern coast of Korea.

안의 광 요구량과 단시간 동안의 광 부족에 대한 내성이 다르기 때문에 특정 환경에서 생존하는 해조류는 장시간 동안의 광조건과 탁도 변화에 대한 각기 다른 생존 적응력을 갖게 된다고 하였다 (Albrecht 1998). 즉, 해조류는 성장과 생존을 위해선 충분한 광을 필요로 하며, 서식지 교란에 의한 부니(腐泥)의 영향은 주로 광합성, 호흡 및 영양염류의 흡수 저해로 이어진다 (Airoldi 1998). 이와 같은 부니에 의한 성장 저해는 일반적으로 해조류 엽체의 표면적에 비례하는 것으로 표면적이 크면 그 영향 정도는 큰 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 인공으로 조성된 해변에서의 주요 우점종이 엽상형보다는 서식지의 교란 및 부니의 영향을 덜 받는 사상형의 해조류가 매우 높은 비율로 출현하였다. 이들 사상형 해조류는 대부분이 일년생 및 수명이 짧고, 광합성률과 생장률이 매우 빨라 단시간 내에 폭발적으로 생체량이 증가하여 새로운 부착면을 점유하는 기회종들로서, Fig. 2에서와 같이 자연군락과 비교하여 계절적으로 큰 폭의 현존량 변화를 보이는 것으로 나타났다.

적 요

2010년 3월부터 2010년 12월까지 화원관광단지 인공해빈에서 해조상의 계절적 변화에 대한 정성 및 정량

조사를 실시하였다. 해조 식생의 계절적 변화는 인근의 자연서식지의 식생과 비교하였다. 인공해빈에서는 녹조류 8종, 갈조류 3종 및 홍조류 4종으로 총 15종의 해조류가 출현하였으며, 자연서식지에서는 녹조류 7종, 갈조류 9종 및 홍조류 22종으로 총 38종의 해조류가 출현하였다. 우점종은 인공해빈의 경우 겨울철에 *Ulva compressa*, *U. intestinalis*, *U. prolifera*, *U. pertusa*, 여름철에는 *Urospora penicilliformis*, *U. intestinalis*, *U. compressa*였으며, 자연서식지의 경우 겨울철에 *U. pertusa*, *U. compressa*, 여름철에 *Sargassum thunbergii*, *Ishige okamurae*였다. (R+C)/P 지수는 인공해빈에서 3.7~4.0, 자연서식지에서 2.6~3.4로 나타났다. 인공해빈의 해조 기능형군별 비율은 사상형 64.4%, 엽상형 21.9%, 분지형 13.7%로 분석되어 자연서식지의 기능형군별 비율과는 유의한 차이를 나타내었다.

사 사

본 논문은 2010년 한국관광공사의 해수욕장 해빈 안정에 관한 기술적 검토조사와 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원 사업으로 수행된 연구임(2009-0093828).

참 고 문 헌

- Airoldi L. 1998. Roles of disturbance, sediment stress, and substratum retention on spatial dominance in algal turf. *Ecology* 79:2759-2770.
- Airoldi L and F Cinelli. 1997. Effects of sedimentation on subtidal macroalgal assemblages: an experimental study from a Mediterranean rocky shore. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 215: 269-288.
- Albrecht AS. 1998. Soft bottom versus hard rock: community ecology of macroalgae on intertidal mussel beds in the Wadden Sea. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 229:85-109.
- Borowitzka MA. 1972. Intertidal algal species diversity and the effect of pollution. *Aust. J. Mar. Freshwat. Pres.* 23:73-84.
- Best EPH, CP Buzzelli, SM Bartell, RL Wetzel, WA Boyd, RD Doyle and KR Campbell. 2001. Modeling submersed macrophyte growth in relation to underwater light climate: modeling approaches and application potential. *Hydrobiologia* 444:43-70.
- Cheney DP. 1977. (R & C)/P-A new and improved ratio for comparing seaweed floras. *Suppl. J. Phycol.* 13:129.
- Edwards P. 1975. Benthic algae in polluted estuaries. *Mar. Pollut. Bull.* 3:1-16.
- Feldmann J. 1937. Recherches sur la vegetation marine de la Mediterranee. La cote des Alberes. *Rev. Algol.* 10:1-339.
- Haglund K, M Bjorklund, S Gunnare, A Sandberg, U Olander and M Pedersen. 1996. New method for toxicity assessment in marine and brackish environments using the macroalga *Gracilaria tenuistipitata* (Gracilariales, Rhodophyta). *Hydrobiologia* 326/327:317-325.
- Hawkins SJ. 1981. The influence of season and barnacles on the algal colonization of *Patella vulgate* exclusion areas. *J. Mar. Bio. Asso. Uni. King.* 61:1-15.
- Hirose H. 1977. Composition of benthic marine algae in relation to pollution in the Seto island sea, Japan. *Ninth International Seaweed Symposium.* 173-180.
- Hwang EK, CS Park, CH Sohn and NP Koh. 1996. Analysis of functional form groups in macroalgal community of Yongsang vicinity, western coast of Korea. *J. Korean Fish. Soc.* 29:97-106.
- Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull. Pusan Fish. Coll.* 7:1-136.
- Kang RS, JG Je and CH Sohn. 1993. Summer algal communities in the rocky shore of south sea of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.* 26:182-197.
- Kim JR. 1978. Eocheongdo Flora of the (forecast). *Kunsan Susan Yearbook.* 12:27-30.
- KTO. 2010. Technical report on the stability of artificial beach. *Korea Tour. Org. Press,* 326pp.
- Lee IK and JW Kang. 1986. A check list of marine algae in Korea. *Korean J. Phycol.* 1:311-325.
- Lee YP and SY Kang. 2002. A catalogue of the seaweeds in Korea. *Cheju Natl Univ Press,* 662pp.
- Levine HG. 1984. The use of seaweeds for monitoring coastal waters. pp.189-210. In *Algae as Ecological Indicators* (Shubert LE ed.). Academic press, New York.
- Litter MM and DS Littler. 1984. Relationships between macroalgal functional form groups and substrate stability in a subtropical rocky intertidal system. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 74: 13-34.
- Litter MM and DS Littler. 1980. The evolution of thallus form and survival strategies in benthic marine macroalgae: field and laboratory tests of a functional form model. *Am. Nat.* 116:25-44.
- Longstaff BJ, NR Loneragan, M O'Donohue and WC Dennison. 1999. The effects of light deprivation on the survival and recovery of the seagrass *Halophila ovalis*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 210:53-73.
- Moore KA, RL Wetzel and RJ Orth. 1997. Seasonal pulses of turbidity and their relations to eelgrass (*Zostera marina* L.)

- survival in an estuary. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 215:115-223.
- Morgan PJ and TR Grant. 1989. The effects of industrial pollution on the development and succession of marine fouling communities. Analysis of species richness and frequency data. *Mar. Ecol.* 10:231-246.
- Mueller-Dombois D and H Ellenberg. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. Wiley, NY. 547pp.
- Oh BG and HB Lee. 1989. Southwestern coast Hataedo a flora of the summer. *Industrial Sci. Res.* 7:163-172.
- Park CS, KY Park and EK Hwang. 2012. Algal flora of Haidotial flats in the southwestern coast of Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 30:193-199.
- Park CS, MY Wi and EK Hwang. 2007. Summer algal flora of uninhabited islands in Dochodo, southwestern coast of Korea. *Algae* 22:305-311.
- Park CS and EK Hwang. 2011. An investigation of the relationship between sediment particles size and the development of green algal mats (*Ulva prolifera*) on the intertidal flats of Muan, Korea. *J. Appl. Phycol.* 23:515-522.
- Saito Y, H Sasak and K Watanabe. 1976. Succession of algal communities on the vertical substratum faces of breakwaters in Japan. *Phycologia* 15:93-100.
- Segawa S. 1956. *Colored illustrations of the seaweeds of Japan*. Hoikusha Pub. Co. LTD. 196pp.
- Sohn CH, IK Lee and JK Kang. 1982. Benthic marine algae of Dolsan island in the southern coast of Korea I. *Pub. Inst. Mar. Sci., Natl. Fish. Univ. Busan.* 14:37-50.
- Sohn CH. 1987. *Phytogeographical characterization and quantitative analysis of algal communities in Korea*. PhD thesis CNU. 111pp.
- Vasquez JA and N Guerra. 1996. The use of seaweeds as bio-indicators of natural and anthropogenic contaminants in northern Chile. *Hydrobiologia* 326/327:327-333.
- Wetzel RG and DF Westlake. 1974. Periphyton. In RA Vollenweider (ed.). *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments*. 2nd ed. IBP Handbook. No. 12, 225pp.
- Wright JH, JBF Champlin and OH Davis. 1971. The impact of environmental radiation and discharge heat from nuclear power plants. In: *Environmental Aspects of Nuclear Power Station*, International Atomic Energy Agency, Vienna. 549-559.
- Zimmerman RC, JL Reguzzoni, S Wyllie-Echeverria, M Josselyn and RS Alberte. 1991. Assessment of environmental suitability for growth of *Zostera marina* L. (eelgrass) in San Francisco Bay. *Aquat. Bot.* 39:353-366.

Received: 4 January 2013

Revised: 4 April 2013

Revision accepted: 9 April 2013