

동해안 울산 주변의 해조 군집

최창근, 노현수^{1*}

부경대학교 생태공학과, ¹한국해양연구원 동해연구소

Marine Algal Community of Ulsan, on the Eastern Coast of Korea

Chang Geun Choi and Hyun Soo Rho^{1*}

Department of Ecological Engineering, Pukyong National University,
Busan 608-737, Korea

¹East Sea Environment Research Department, Korea Ocean Research and
Development Institute, Uljin 767-813, Korea

The marine algal flora and community structure were investigated at three sites in Ulsan on the southeast coast of Korea between August 2005 and July 2006. Ninety-one benthic algae species were identified, including 14 Chlorophyta, 21 Phaeophyta, and 56 Rhodophyta species. Of the 91 seaweeds, 19 species were found throughout the survey period. The wet weight biomass ranged from 310.8 to 2,960.4 g m⁻² during the study period. The maximum biomass was recorded at Sinri, and the minimum was recorded at Daesong. The R/P, C/P and (R+C)/P values reflecting flora characteristics were 2.67, 0.67, and 3.33, respectively. The flora investigated could be classified into six functional groups: coarsely branched (46.2%), thick leathery (22.0%), filamentous (16.5%), Sheet (7.7%), jointed calcareous (4.4%), and crustose (3.3%) forms. A cluster analysis produced two groups that differed meaningfully: one included the site Sinri-summer and the other included the sites Daesong and Jinha.

Key words: Biomass, Community, Flora, Functional group, Similarity, Ulsan

서 론

해조류는 해양생태계에서 일차생산자로서의 역할 뿐 만 아니라 연안에 서식하는 유용 수산동물의 산란장, 서식장 및 먹이 제공 원으로써 크게 기여하고 있으며 (Choi et al., 2002), 최근에는 식용, 공업용, 사료용, 비료용, 의약품 원료, CO₂ 흡수원, 바이오에너지원 등으로 널리 이용되고 있다 (Worm et al., 2000; Choi et al., 2008). 특히 최근 많은 지역에서 문제가 되고 있는 연안 오염을 정화시키는 연안 수질개선 능력에 대한 연구와 해양생물의 서식지로서 해중림 개발이 활발히 진행되고 있으며 (Ohno et al., 1990; Terawaki et al., 1995; Serisawa et al., 1998; Choi et al., 2006), 다양한 생리활성 물질의 공급원 및 자원의 활용 측면으로도 중요성이 부각되고 있다 (Critchley and Ohno, 1998; Yoo, 2003a). 그러므로 해중림이 훼손된 해역의 생태공학적인 기법을 활용한 생태복원 (Choi et al., 2008) 등을 위해서도 대상 해역의 해조상 및 군집조사 연구는 해조류 분포와 생태학적 정보를 제공한다는 측면에서 매우 중요하다고 할 수 있다 (Kang et al., 2008; Choi et al., 2009).

한국산 해조류에 대한 연구는 Kang (1966)이 한국산 해조류의 지리적 분포를 논하면서 실질적으로 해조류에 대한 연구가 시작되었다. 우리나라 연안의 해조류 분포 및 수온과 해류 등의 해양 환경을 기초로 하여 동해안 북부, 동해안 남부, 남해안, 서해안 및 제주도의 5개 해역으로 구분하고, 동해안

남부의 해조류 조성이 북방계 10%, 온대계 70%, 남방계 4% 및 범세계종 16%로 되어 있음을 보고하였다. 또한 동해안에 생육하는 해조류로 남조류 3종, 녹조류 25종, 갈조류 48종 및 홍조류 120종으로 총 196종을 보고하였다. 이를 계기로 한국 각 해안의 여러 지점을 대상으로 해조류의 구체적인 연구와 분포 또는 식생 분석을 중심으로 한 생태학적인 연구 및 분류학적인 연구가 많이 이루어졌다 (Lee et al., 1997).

최근에 보고된 울산 인근 및 동해안 남부 지역 해조류에 관한 연구로는 Lee et al. (1997)이 영일만과 주변 해조상 연구, Nam and Kim (1999)의 부산 용호동 일대 해조 군집 연구, Yoo (2003a)의 부산 서암 조간대의 해조 군집구조 등이 있다. 또한 Choi (2007)는 부산 영도의 해조상과 곰피 군락에 관하여 연구를 수행하였으며, Choi (2008)는 월성 원자력 발전소 부근의 해조군집, Kang et al. (2008)은 기장 일광만의 해조상과 군집구조에 대한 연구를 수행한 바 있다.

이 연구지역인 울산시 울주군은 동해안의 남부에 위치하여 쿠로시오 난류의 지류인 대마난류가 대륙사면을 따라 북상하며 영향을 강하게 미치는 곳이다 (Kang et al., 2008). 또한 동해안 남부와 남해안의 경계에 위치하기 때문에 지리적 분포가 매우 중요한 해역이다. 최근 지구온난화 (Russell et al., 2009), 도시화, 인위적인 활동에 의한 변화 (Bates and DeWreede, 2007) 등으로 인하여 해양 생태계 변화가 예상되는 지역임에도 불구하고 이 지역 해조류에 관한 연구는 매우 빈약한 실정이다.

*Corresponding author: hsrho@kordi.re.kr

이 연구는 울산시 울주군 주변 해역에 서식하는 해조상 및 군집의 특성을 보다 명확하게 밝히기 위하여 울산 지역 조간대를 대상으로 해조류의 정성적, 정량적 기초 자료를 토대로 해조군집을 조사하였으며, 해조상, 우점종 및 해조류의 형태적 특징과 생태적 특성을 종합적으로 반영할 수 있는 해조 기능형군의 특성을 밝힘으로써 이 지역 해조류의 군집 구조와 특성의 변화 양상을 파악하기 위한 기초 자료를 제공하고자 실시하였다.

재료 및 방법

이 조사의 조사정점은 울산시 울주군 일대에서 조사지역의 해조류 식생을 대표할 수 있는 곳을 중심으로 세 곳 (신리, 대송, 진하)을 선정하여 2005년 8월부터 2006년 7월까지 계절별로 해조상 및 군집조사를 실시하였다 (Fig. 1).

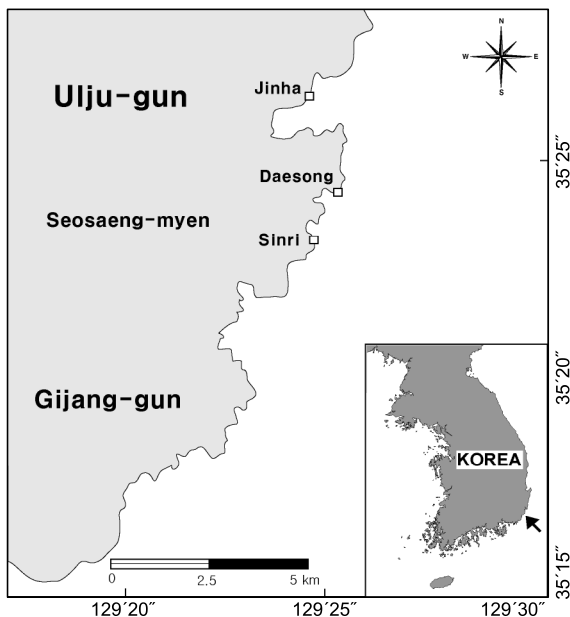


Fig. 1. A map showing the sampling sites in Ulsan, east coast of Korea.

해조상과 군집조사는 각 조사 정점별로 해조 생육 상한선에서 하부 조간대까지 transect line을 설정하여 각 정점별로 조사를 실시하였다. 해조류의 정량 조사는 설정된 transect를 따라 50 cm×50 cm 크기의 방형구를 이용하여 방형구 내에 출현하는 모든 해조류를 끝갈 등으로 전량 채집한 후 10% 포르말린-해수 용액으로 고정한 뒤 아이스박스 등을 이용하여 저온 보관하며 즉시 실험실로 운반하여 분석하였다. 현존량은 방형구내의 해조류를 실험실에서 담수로 충분히 씻어 불순물을 제거한 뒤 페이퍼 타월 등으로 습기를 제거한 뒤 습중량을 측정하여 단위면적(m²)당 생물량으로 환산하였다. 또한 조사 정점의 주변 해역 기질을 자세히 조사하면서 그 곳에 서식하는 해조류를 정성적으로 채집하였다.

종 동정은 남조류를 제외한 녹조류, 갈조류, 홍조류에 국한

하여 이루어졌으며, 동정된 해조류의 학명과 국명 인용 및 목록 정리는 한국 해조목록의 분류체계 (Kang, 1968; Lee and Kang, 1986; 2002) 및 일본해조목록 (Yoshida et al., 1995)을 참고로 하였다. 조사지역에 출현하는 해조류의 분포적 특성 및 해조상을 해석하는 지표로는 수온의 변동과 밀접한 연관이 있어서 해조상의 지리적 분포한계와 수평분포 지수 등의 특성을 다소 뚜렷하게 확인해주는 것으로 이용되는 R/P (Feldmann, 1937), C/P (Segawa, 1956)와 (R+C)/P (Cheney, 1977)값을 이용하여 분석하였다. 조사 지역간 해조류의 형태적 차이와 생태적 특성 파악을 위한 기능형군 분석은 Littler and Littler (1984)의 6가지 기능형군별 분류형을 사용하여 분석하였다. 각 정점별 종다양도는 Shannon의 다양도지수(H')를 이용하였고 (Shannon and Weaver, 1945), 유사도지수는 PRIMER computer package를 이용하여 수치도를 작성하였다 (Clarke and Gorley, 2006).

결 과

종 조성

조사기간 동안 이 지역에 출현한 해조류는 총 91종으로 확인되었으며, 분류군별로는 녹조류 14종, 갈조류 21종, 홍조류 56종으로 홍조류의 출현 비율이 가장 높게 나타났다 (Table 1). 각 계절별 출현 종 수는 가을에 59종으로 가장 많이 출현하였고, 여름, 겨울, 봄은 각각 48종, 45종, 49종이 출현하여 유사한 출현 종 수를 나타냈다. 정점별 출현 종 수는 신리에서 66종을 출현 종 수가 가장 풍부했고, 대송에서는 63종, 진하에서는 51종으로 출현 종 수가 가장 적었다.

전체 조사기간 동안 모든 계절에 관찰된 보편적인 종은 총 19종으로 녹조류인 구멍갈파래 (*Ulva pertusa*), 갈조류인 불레기말 (*Colpomenia sinuosa*), 개그물바탕말 (*Dilophus okamurae*), 지충이 (*Sargassum thunbergii*), 홍조류인 애기우뚝가사리 (*Gelidium divaricatum*), 흑돌잎 (*Lithophyllum okamurae*), 작은구슬산호말 (*Corallina pilulifera*), 참도박 (*Grateloupia elliptica*), 참지누아리 (*G. filicina*), 미끝지누아리 (*G. turuturu*), 붉은까막살 (*Prionitis cornea*), 진두발 (*Chondrus ocellatus*), 애기돌가사리 (*Chondracanthus intermedia*), 애기마디잘록이 (*Lomentaria hakodatensis*), 잔금분홍잎 (*Acrosorium polyneurum*), 개서실 (*Chondria crassicaulis*), 모로우붉은실 (*Polysiphonia morrowii*), 참보라색우무 (*Symphyclocladia latiuscula*), 무절산호조류 (Melobesioidean algae)로 나타났다 (Table 1).

생물량

이번 연구를 통하여 분석된 울산의 각 정점별 계절별 생물량은 봄철 조사시 신리에서 2,960.4 g wet weight m²로 가장 큰 생물량을 보였으며, 여름철과 가을철에도 상대적으로 다른 정점에 비해 높았다. 겨울철 대송에서는 310.8 g wet weight m²로 가장 작은 생물량을 나타냈다 (Table 2). 대송은 생물량이 계절별로 310.0 g wet weight m²에서 798.1 g wet weight m²로 신리와 진하에 비하여 모든 계절에서 가장 낮은 생물

Table 1. A list of marine algal species found at Ulsan, Korea (SR: Sinri, DS: Daesong, JH: Jinha)

Species	Summer			Autumn			Winter			Spring			Total			
	SR	DS	JH	SR	DS	JH	SR	DS	JH	SR	DS	JH				
	Chlorophyta															
<i>Ulothrix flacca</i>				+	+											
<i>Ulva compressa</i>	+		+									+	+			
<i>Ulva conglobata</i>							+					+	+			
<i>Ulva intestinalis</i>	+	+	+	+									+			
<i>Ulva lactuca</i>	+				+	+							+			
<i>Ulva linza</i>	+	+	+	+	+	+						+	+	+		
<i>Ulva pertusa</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
<i>Ulospora penicilliformis</i>					+							+	+			
<i>Chaetomorpha moniligera</i>	+															
<i>Cladophora albida</i>				+												
<i>Cladophora japonica</i>														+		
<i>Cladophora pusilla</i>	+	+														
<i>Bryopsis plumosa</i>					+											
<i>Codium fragile</i>					+											
Phaeophyta																
<i>Ectocarpus</i> sp.				+		+						+	+	+		
<i>Ishige okamurae</i>					+	+	+	+	+	+	+	+				
<i>Ishige sinicola</i>				+	+	+										
<i>Leathesia difformis</i>								+								
<i>Colpomenia bullosa</i>								+				+	+			
<i>Colpomenia sinuosa</i>		+		+	+		+	+		+	+	+				
<i>Petalonia fascia</i>	+															
<i>Scytosiphon lomentaria</i>												+	+			
<i>Undaria pinnatifida</i>	+						+	+				+				
<i>Dictyopteria latiuscula</i>						+										
<i>Dictyopteria prolifera</i>		+		+												
<i>Dictyota dichotoma</i>		+		+												
<i>Dilophus okamurae</i>	+	+		+	+		+	+	+							
<i>Myagropsis myagroides</i>								+								
<i>Hizikia fusiformis</i>	+			+								+	+			
<i>Sargassum fulvellum</i>													+			
<i>Sargassum horneri</i>				+	+		+	+		+	+	+				
<i>Sargassum micracanthum</i>				+												
<i>Sargassum patens</i>													+			
<i>Sargassum thunbergii</i>	+	+		+	+		+	+		+	+					
<i>Sargassum</i> sp.				+												
Rhodophyta																
<i>Bangia atropurpurea</i>								+								
<i>Porphyra suborbiculata</i>												+				
<i>Porphyra tenera</i>					+		+	+		+	+	+				
<i>Galaxaura falcata</i>				+	+	+	+		+							
<i>Gelidium amansii</i>		+		+		+						+				
<i>Gelidium divaricatum</i>	+	+	+	+	+	+	+			+		+				
<i>Dumontia simplex</i>				+					+			+				
<i>Hildenbrandtia rubra</i>				+	+	+										
<i>Lithophyllum okamurae</i>		+		+	+		+					+				
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	+			+			+									
<i>Amphiroa dilatata</i>		+										+				

Table 1. Continued

Species	Summer			Autumn			Winter			Spring			Total
	SR	DS	JH	SR	DS	JH	SR	DS	JH	SR	DS	JH	
	<i>Corallina pilulifera</i>												
<i>Marginisporum crassissima</i>													
<i>Carpopeltis affinis</i>													
<i>Grateloupia divaricata</i>													
<i>Grateloupia elliptica</i>													
<i>Grateloupia filicina</i>													
<i>Grateloupia lanceolata</i>													
<i>Grateloupia livida</i>													
<i>Grateloupia prolongata</i>													
<i>Grateloupia sparsa</i>													
<i>Grateloupia turuturu</i>													
<i>Halymenia acuminata</i>													
<i>Halymeniopsis dilatata</i>													
<i>Prionitis cornea</i>													
<i>Prionitis patens</i>													
<i>Gloiopeltis furcata</i>													
<i>Schizymenia dubyi</i>													
<i>Plocamium telfairiae</i>													
<i>Hypnea charoides</i>													
<i>Hypnea japonica</i>													
<i>Hypnea saidana</i>													
<i>Gracilaria textorii</i>													
<i>Gracilaria verrucosa</i>													
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>													
<i>Chondrus crispus</i>													
<i>Chondrus ocellatus</i>													
<i>Chondracanthus intermedia</i>													
<i>Chondracanthus tenellus</i>													
<i>Lomentaria catenata</i>													
<i>Lomentaria hakodatensis</i>													
<i>Centroceras clavulatum</i>													
<i>Ceramiosiphonia japonica</i>													
<i>Ceramium paniculatum</i>													
<i>Acrosorium polyneurum</i>													
<i>Acrosorium yendoii</i>													
<i>Phycodrys fimbriata</i>													
<i>Polyneura japonica</i>													
<i>Heterosiphonia japonica</i>													
<i>Chondria crassicaulis</i>													
<i>Laurencia okamurae</i>													
<i>Laurencia undulata</i>													
<i>Polysiphonia morrowii</i>													
<i>Symphyocladia latiuscula</i>													
<i>Symphyocladia linearis</i>													
Melobesioidean algae													
Chlorophyta	7	4	5	5	6	3	2	1	1	5	5	5	14
Phaeophyta	5	5	2	11	7	1	5	8	3	9	10	4	21
Rhodophyta	14	21	17	30	22	22	15	18	20	16	15	17	56
Sum	26	30	24	46	35	26	22	27	24	30	30	26	91

Table 2. Seasonal mean biomass (g wet weight m⁻²) of algal species at Ulsan, Korea (SR: Sinri, DS: Daesong, JH: Jinha)

Species	Summer			Autumn			Winter			Spring		
	SR	DS	JH	SR	DS	JH	SR	DS	JH	SR	DS	JH
Chlorophyta												
<i>Ulothrix flacca</i>				1.2	3.9							
<i>Ulva conglobata</i>							0.7			17.6		
<i>Ulva lactuca</i>	21.7				297.3	1,069.9						694.4
<i>Ulva linza</i>	205.6	116.7	255.5							45.0		1.4
<i>Ulva pertusa</i>	101.9	82.7	127.1		1.1		138.7	76.1	125.7	150.6	165.8	8.8
<i>Urospora penicilliformis</i>										8.8	4.8	
<i>Chaetomorpha moniligera</i>	0.1											
<i>Cladophora albida</i>			5.1									
<i>Cladophora japonica</i>												1.2
<i>Cladophora pusilla</i>	0.3	8.5										
<i>Bryopsis plumosa</i>					0.3							
Phaeophyta												
<i>Ectocarpus</i> sp.						2.1						2.6
<i>Ishige okamurae</i>				10.3			54.8		5.7	8.2		
<i>Colpomenia sinuosa</i>		3.3					4.1			73.0	112.2	
<i>Scytosiphon lomentaria</i>										13.8	76.2	
<i>Dictyopteris prolifera</i>				1.3								
<i>Dilophus okamurae</i>	13.2	0.3						0.9				
<i>Hizikia fusiformis</i>	42.4											
<i>Sargassum horneri</i>								167.2				
<i>Sargassum thunbergii</i>				188.3			323.1			2,414.0	57.2	
Rhodophyta												
<i>Porphyra suborbiculata</i>										33.2		
<i>Porphyra tenera</i>					1.5		6.4	13.7				
<i>Galaxaura falcata</i>				3.2	0.8	17.6	0.7		24.5			
<i>Gelidium amansii</i>		0.4										
<i>Gelidium divaricatum</i>	0.3	0.1	50.9		0.5		86.7			22.2		3.6
<i>Dumontia simplex</i>									35.0			89.6
<i>Lithophyllum okamurae</i>		6.1		0.5	4.5			5.1		4.6		
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	2.1			48.5								
<i>Amphiroa dilatata</i>		0.7										
<i>Corallina pilulifera</i>	1,359.1	33.7	9.7	176.1	19.7	44.1	15.1		13.5	4.4	69.6	38.4
<i>Marginisporum crassissima</i>	1.9											
<i>Carpopeltis affinis</i>				4.3								
<i>Grateloupia divaricata</i>						28.1						
<i>Grateloupia filicina</i>	0.1		246.3			1.1						
<i>Grateloupia prolongata</i>					0.4	17.9			114.9			
<i>Grateloupia sparsa</i>						18.5			2.0			
<i>Grateloupia turuturu</i>			4.1			28.5			24.1			
<i>Halymenia acuminata</i>			379.9									
<i>Prionitis cornea</i>		0.5	1.6			101.2			100.7			0.6
<i>Gloiopeltis furcata</i>							16.3			27.0		
<i>Plocamium telfairiae</i>	0.1							0.9	0.3			
<i>Hypnea charoides</i>						12.7						
<i>Hypnea japonica</i>		0.1										
<i>Hypnea saidana</i>				140.0	76.9							
<i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i>				3.1					26.7	1.0		49.2
<i>Chondrus crispus</i>	4.0			22.0								
<i>Chondrus ocellatus</i>		18.4	0.1	17.6	5.1				12.3	22.2		12.6
<i>Chondracanthus intermedia</i>		1.5		19.5	10.1		31.5			112.4	10.4	
<i>Chondracanthus tenellus</i>				0.5						1.6		
<i>Lomentaria hakodatensis</i>	3.9	40.1		501.6	75.9		0.8	21.2				5.4
<i>Centroceras clavulatum</i>					0.1	0.5						
<i>Ceramiopsis japonica</i>											0.8	
<i>Ceramium paniculatum</i>	8.0											
<i>Acrosorium polyneurum</i>	0.4	3.6		0.3	16.5			6.1	1.6			0.6
<i>Acrosorium yendoii</i>				1.6	8.4							
<i>Polyneura japonica</i>									0.4			
<i>Chondria crassicaulis</i>	29.2	387.7		200.0	257.9		32.3	10.8		5.4	64.2	
<i>Laurencia okamurae</i>		1.2		12.8								
<i>Polysiphonia morrowii</i>			80.0	5.1	11.6	1.7		0.5				0.2
<i>Symphyocladia latiuscula</i>	7.5	0.1		0.5	5.6		117.6	8.3			16.4	0.4
Total	1,801.8	705.7	1,160.3	1,358.3	798.1	1,343.9	828.8	310.8	487.4	2,960.4	582.2	909.0

량을 나타냈다. 생물량이 가장 높았던 해조류는 여름에 신리에서 작은구슬산호말, 대송에서 개서실, 진하에서는 지누아리사촌 (*Halymenia acuminata*)이었다. 가을에는 신리는 애기마디잘록이, 대송과 진하에서는 참갈파래 (*Ulva lactuca*)가 높은 생물량을 보였다. 겨울에는 신리에서 지충이, 대송에서는 팽생이모자반 (*Sargassum horneri*), 진하에서는 구멍갈파래가 가장 높은 값을 보였고, 봄에는 신리에서 지충이, 대송에서 구멍갈파래, 진하에서 참갈파래가 높은 생물량으로 출현하였다.

진하는 총 출현 종 수가 51종이었고 대송은 63종으로 66종이 출현한 신리와 유사했지만, 진하에 비해서는 많은 종 수가 출현했다. 하지만, 계절별 생물량은 대송에서 항상 낮게 나타났는데 이는 높은 생물량을 갖는 해조류가 출현하지 않았던 것으로 조사되었다. 신리나 진하의 경우에는 작은구슬산호말, 참갈파래, 지충이 등의 해조류가 계절별로 1,069.9 g wet weight m⁻²에서 2,414.0 g wet weight m⁻²으로 높은 값을 기록한 반면, 대송에서는 참갈파래, 구멍갈파래, 팽생이모자반, 개서실 등의 해조류 생물량이 165.8 g wet weight m⁻²에서 387.7 g wet weight m⁻²으로 상대적으로 낮은 생물량을 기록했기 때문에 나타났다.

기능형 군 및 생태지수

일반적으로 해조상의 지역적 특성을 나타내는 생태지수인 R/P 값은 2.67이었다. C/P 값은 0.67이었으며, (R+C)/P 값은 3.33을 나타냈다 (Table 3).

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

References	Site	Number of species	Flora characteristics ratio		
			R/P	C/P	(R+C)/P
Lee et al. (1997)	Yongil Bay	116	2.92	0.54	3.46
Nam and Kim (1999)	Yongho-dong	96	2.19	0.50	2.69
Yoo (2003a)	Seoam	75	2.76	0.35	3.12
Choi (2007)	Youngdo	69	2.33	0.48	2.81
Kang et al. (2008)	Ilkwang	103	4.47	0.59	5.06
This study	Ulsan	91	2.67	0.67	3.33

이번 연구에서 각 정점에서 출현한 해조류의 기능형군별 출현비율은 여름의 경우 성긴분기형 43.8%, 다육질형 20.8%, 사상형 16.7%, 유절산호말형 8.3%, 엽상형 6.3%, 각상형 4.2%로 나타났다. 다른 계절의 기능형군별 출현비율도 성긴분기형과 다육질형이 높게 나타났으며, 여름과 봄에는 사상형 해조류의 출현비율이 그 다음으로 높았다. 유절산호말형과 각상형 해조류의 출현비율은 대체적으로 모든 계절에 유사하게 출현하였다. 울산의 전체 해조류 출현 종에 대한 기능형군별 출현 비율은 성긴분기형 46.2%, 다육질형 22.0%, 사상형 16.5%, 엽상형 7.7%, 유절산호말형 4.4%, 각상형 3.3%로 성긴분기형과 다육질형 해조류가 전체적으로 70% 정도의 출현 비율을 기록했다 (Table 4).

Table 4. Composition ratio (%) of macroalgal functional form group investigated at Ulsan, Korea

Functional form	Summer	Autumn	Winter	Spring	Total
Sheet	6.3	6.8	11.1	14.3	7.7
Coarsely branched	43.8	57.6	48.9	40.8	46.2
Thick leathery	20.8	15.3	24.4	20.4	22.0
Filamentous	16.7	11.7	6.7	16.3	16.5
Jointed calcareous	8.3	3.4	4.4	4.1	4.4
Crustose	4.2	5.1	4.4	4.1	3.3

이 연구에서 산출한 종다양도지수(H') 값은 신리에서 3.1-3.8로 세 정점 중에서 상대적으로 가장 높았고, 대송에서는 3.3-3.6, 진하는 3.2-3.3으로 신리에 비하여 다소 낮았지만 큰 차이는 없었다 (Fig. 2). 유사도에 근거한 계절별 조사 정점 간의 집괴분석 결과 크게 2개의 그룹으로 나누어졌는데, 유사도 50% 수준에서 여름철 신리와 나머지 계절별 정점으로 구분되었다 (Fig. 3). 두 번째 그룹 중에서 진하의 경우, 신리와 대송지역 정점과 별개의 그룹으로 구분되는 것으로 나타났다.

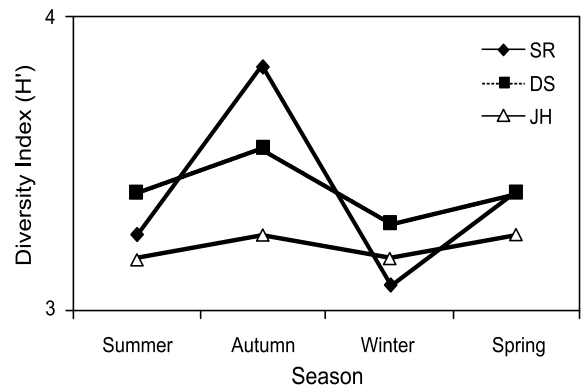


Fig. 2. Seasonal species diversity (H') of each site in Ulsan, Korea.

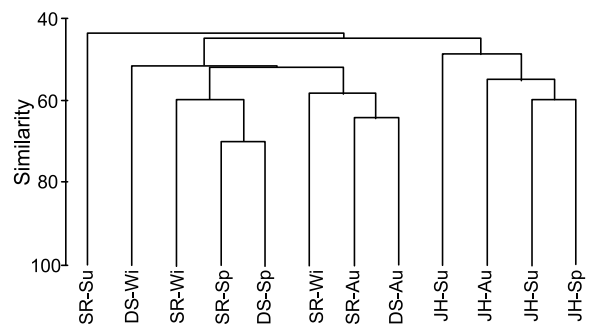


Fig. 3. A dendrogram produced by clustering location flora using average linkage at 3 sampling sites at Ulsan, Korea (SR: Sinri, DS: Daesong, JH: Jinha, Sp: Spring, Su: Summer, Au: Autumn, Wi: Winter).

고찰

우리나라 동해안은 해안선이 비교적 단조롭고 조수 간만의 차는 대조시 주문진이 0.3 m, 영일만이 0.2 m, 울산이 0.4 m 정도로서 아주 작게 나타난다 (Lee and Oh, 1986). 해조류 식생은 온대계 해조류가 우세하게 분포하며 (Kang, 1966), 조간대 상부에는 녹색대, 하부에는 적갈색대로 나타나는 수직 분포를 이룬다 (Lee and Oh, 1986).

이 연구에서 나타난 울산 지역 해조류는 녹조류 14종, 갈조류 21종, 홍조류 56종으로 총 91종이 관찰되었다. 현재까지 동해안에서 보고된 해조류의 출현 종 수는 녹조류 50종, 갈조류 94종, 홍조류 253종으로 총 397종으로 보고되었다 (Yoo, 2003b). 이번 조사결과와 동해안에서 보고된 해조류 분류군별 출현비율을 비교해보면 구성비가 유사하게 나타났다. 동해안 72개 지역에서 보고된 연구 중 해조류 출현빈도가 70% 이상인 종은 구멍갈파래, 불레기말, 미역 (*Undaria pinnatifida*), 애기마디잘록이, 부챗살 (*Ahnfeltiopsis flabelliformis*), 참보라색우무 등 6종으로 나타났다 (Yoo, 2003b). 이번 연구에서도 이들 해조류가 모두 출현하여, 이전에 보고된 연구 결과들과 유사하였다.

이 연구에서 관찰된 울산의 해조류 출현종 수는 인근 지역에서 보고된 영일만 (Lee et al., 1997), 일광 (Kang et al., 2008)의 연구보다 감소한 것으로 나타났지만, 용호동 (Nam and Kim, 1999), 서암 (Yoo, 2003a), 영도 (Choi, 2007)에 비해서는 비슷하거나 다소 많은 것으로 나타났다. 최근 많은 연구에서 지구 온난화 (Russell et al., 2009), 인위개변에 의한 해양생태계 변화 (Bates et al., 2005; Bates and DeWreede, 2007), 해수온 상승 및 해난사고 (Choi, 2007) 등에 의하여 연안에 서식하는 해양 생물들의 종조성, 종 다양성 및 생물량이 감소하는 것으로 보고된다. 따라서 이들 해양 생태계를 대상으로 지속적인 모니터링 연구가 필요하다고 판단된다.

이 연구에서 생물량으로 본 우점종은 참갈파래, 구멍갈파래, 지층이, 작은구슬산호말, 애기마디잘록이, 개서실로 나타났다. 이들 해조류의 생물량은 계절별로 125.7 - 2,414.0 g wet weight m⁻²로 다양했으며, 정점별 생물량도 310.8 - 2,960.4 g wet weight m⁻²로 조사되었다. 이는 울산 인근 지역 일광만 (Kang et al., 2008)의 평균 생물량인 478.3 g wet weight m⁻²에 비해 상당히 높은 값이었지만, 용호동 (Nam and Kim, 1999)의 1,241 - 1,648 g wet weight m⁻²와는 유사하거나 조금 높았다. 울산의 계절별 생물량은 우점하는 몇몇 해조류의 생물량이 매우 높았기 때문에 인근 지역의 해조류 생물량보다 높게 나타났다. 여름의 경우 홍조류인 작은구슬산호말이 1,359.1 g wet weight m⁻², 가을에는 녹조류인 참갈파래가 1,069.9 g wet weight m⁻², 봄에는 갈조류인 지층이가 2,414.0 g wet weight m⁻²로 매우 높았으며, 그 외 대부분의 해조류 생물량은 낮았다. 따라서 우점 해조류의 종조성이 변화한다면 총 생물량에 크게 영향을 미칠 것으로 판단된다.

Feldmann (1937)은 R/P 값으로 어떤 대상 해역에 대한 해조상의 특징을 나타내었고, Segawa (1956)는 C/P 값을 이용하여

한대에서 아열대 지역까지 구분하였다. Cheney (1977)는 녹조류가 열대에서 우세한 점에 착안하여 R/P 값에 녹조류를 추가하여 (R+C)/P 값의 이용을 제안하면서 이 값이 R/P 값보다 해조상의 특징을 나타내는데 정확한 것으로 판단했다. 그 값이 3 이하이면 온대성 또는 한대성 해조상, 6 이상이면 열대성 해조상, 그 중간값이면 혼합 해조상의 특징을 나타낸다고 하였다. 이 연구 결과 울산 해역의 R/P 값은 2.67, C/P 값은 0.67, (R+C)/P 값은 3.33으로 해석되어 Kang (1966)이 지적한 바와 같이 온대성 혼합 해조상의 특징을 나타내었다. 이번 조사 지역인 울산의 인근에서 보고된 이전의 연구들 (Lee et al., 1997; Nam and Kim, 1999; Yoo, 2003a; Choi, 2007; Kang et al., 2008)과 생태지수를 비교해보면, 열대성에 가까운 혼합 해조상의 특성을 보인 일광만 (Kang et al., 2008)을 제외하고는 거의 대부분 유사하게 보고되어 동해안 남부 해역은 온대성 혼합 해조상의 특징을 갖는다고 할 수 있다.

해조류는 외부 형태, 체장, 생활사, 형태 등에서 다양성을 보이며, 환경에 대하여 행태적이고 기능적으로 적응하기 때문에 개체군의 적응도를 높이게 된다 (Littler et al., 1983). Littler and Littler (1984)는 해조류의 기능형군 연구가 생활형이나 생활사 또는 계통적 분류군 연구보다 지역 군집의 특징을 이해하는데 유용한 연구방법이 된다고 보고하였다. 따라서 6가지의 기능형군으로 구분하고 이를 기초로 군집의 속성과 기능을 규명하고 있다.

울산 해역 해조류의 기능형군별 구성비는 계절별로 차이는 보이지만 성긴분기형과 다육질형이 가장 높은 비율을 나타냈다. 전체 출현종에 대한 기능형군의 구성비는 성긴분기형 - 다육질형 - 사상형 - 엽상형 - 유절산호말형 - 각상형의 순으로 높았다. 남서해안 해조류의 기능형군별 구성비 (Park et al., 2007)는 성긴분기형, 사상형, 엽상형, 다육질형, 유절산호말형, 각상형 순으로 성긴분기형과 사상형의 구성비율이 높다고 하였다. 동해안 월성 원전 주변의 구성비율 (Choi, 2008)에 관한 연구에서도 성긴분기형, 사상형, 엽상형, 다육질형, 유절산호말형, 각상형 순으로 보고하였다. 성긴분기형, 사상형, 엽상형 해조류는 환경적인 스트레스가 심한 교란 혹은 오염지역에서 높은 비율로 나타나는 해조류로 알려져 있다 (Orfandis et al., 2001). 따라서, 남서해안이나 원전 주변 해역에 비해 울산 해역 해조류가 교란이나 오염에 덜 노출된 것으로 판단된다.

종다양도지수 (H')는 군집 안정도 및 환경상태의 평가에 이용이 가능하다 (Kang et al., 2008). Kang et al. (2008)은 일광만 해조군집 연구에서 종다양도지수가 2.0-3.0의 경우 군집 안정도는 불안정하고 환경상태는 다소 양호한 것으로 간주하였으며, 종다양도지수가 1.2 이하의 경우에는 군집 안정도가 매우 불안정하고 환경상태도 매우 나쁜 것으로 평가하였다. 이번 울산의 해조군집 연구에서는 각 정점별로 종다양도지수가 3.0 이상으로 나타나 일광만 해조류 군집보다는 군집 안정도가 안정적이며 환경상태도 양호한 것으로 평가되었다. 이는 모래와 펄 기질인 일광만 해역이 해조류 생육에 불리하게 작용한 것으로 암반과 자갈 기질인 울산 해역과 비교했을 때 다소 상이한 결과를 나타냈다.

최근 수온 상승, 영양염, 파랑 등과 같은 해양변동에 의한 갯녹음 현상과 성게와 같은 조식동물에 의한 섭식압, 무절산 호조류에 의한 갯녹음의 가속화 등이 심각한 문제로 나타나고 있는데 (Choi, 2007; Kang et al., 2008), 울산 해역의 해조류 종 다양도 및 생물량 감소와 같은 해조 식생 변화도 지속적인 모니터링을 실시하여 건강한 해조 군집의 유지 관리 등을 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 한국해양연구원 연구과제 “동해 중부연안환경 변동성 연구(PE98444)”의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

- Bates CR and DeWreede RE. 2007. Do changes in seaweed biodiversity influence associated invertebrate epifauna?. *J Exp Mar Biol Ecol* 344, 206-214.
- Bates CR, Saunders GW and Chopin TC. 2005. An assessment of two taxonomic distinctness indices for detecting seaweed assemblage responses to environmental stress. *Bot Mar* 48, 231-243.
- Cheney DP. 1977. R& C/P - A new and improved ratio for comparing seaweed floras. *Suppl J Phycol* 13, 129.
- Choi CG. 2007. Algal flora and *Ecklonia stolonifera* Okamura (Laminariaceae) population of Youngdo in Busan, Korea. *Algae* 22, 313-318.
- Choi CG, Kim JH and Chung IK. 2008. Temporal variation of seaweed biomass in Korea coasts: Yokjido, Gyeongnam Province. *Algae* 23, 311-316.
- Choi CG, Ohno M and Sohn CH. 2006. Algal succession on different substrata covering the artificial iron reef at Ikata in Shikoku, Japan. *Algae* 21, 305-310.
- Choi CG, Oh SJ and Kang IJ. 2009. Subtidal marine algal community of Jisepo in Geoje, Korea. *J Fac Agr Kyushu Univ* 54, 339-346.
- Choi CG, Takeuchi Y, Terawaki T, Serisawa Y, Ohno M and Sohn CH. 2002. Ecology of seaweed beds on two types of artificial reef. *J Appl Phycol* 14, 343-349.
- Choi HG. 2008. Effects of thermal effluents from Wolsong nuclear power plant on macroalgal composition and community structure. *Algae* 23, 151-162.
- Clarke KR and Gorley RN. 2006. PRIMER V6: User Manual/Tutorial. PRIMER-E Ltd, Plymouth, U.S.A., 1-190.
- Critchley AT and Ohno M. 1998. Seaweed resources of the world. JICA. Yokosuka, Japan, 1-431.
- Feldmann J. 1937. Recherches sur la vegetation marine de la Mediterranee. La cote des Alberes. *Rev Algol* 10, 1-339.
- 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. Samhwa Press, Seoul, Korea. 1-465.
- Kang PJ, Kim YS and Nam KW. 2008. Flora and community structure of benthic marine algae in Ilkwang Bay, Korea. *Algae* 23, 317-326.
- Lee HB and Oh YS. 1986. A summer algal vegetation in Youngil Bay, eastern coast of Korea. *Korean J Phycol* 1, 225-240.
- Lee IK and Kang JW. 1986. A check list of marine algae in Korea. *Korean J Phycol* 1, 311-325.
- Lee SY, Lee JW and Lee HB. 1997. Marine benthic algal flora of Youngil Bay and its adjacent areas, the eastern coast of Korea. *Algae* 12, 303-311.
- Lee YP and Kang SY. 2002. A catalogue of the seaweeds in Korea. Cheju National University Press, Cheju, Korea. 1-662.
- Littler MM and Littler DS. 1984. Relationships between macroalgal functional form groups and substrate stability in a subtropical rocky intertidal system. *J Exp Mar Biol Ecol* 74, 13-34.
- Littler MM, Littler DS and Taylor PR. 1983. Evolutionary strategies in a tropical barrier reef system: Functional-form groups of marine macroalgae. *J Phycol* 19, 229-237.
- Nam KW and Kim YS. 1999. Benthic marine algal flora and community structure of Yongho-dong area in Pusan, Korea. *J Korean Fish Soc* 32, 374-384.
- Ohno M, Arai S and Watanabe M. 1990. Seaweed succession on artificial reefs on different bottom substrata. *J Appl Phycol* 2, 327-332.
- Orfanidis S, Panayotidis P and Stamatis N. 2001. Ecological evaluation of transitional and coastal and water; A marine benthic macrophytes-based model. *Medit Mar Sci* 2, 45-65.

- Park CS, Wee MY and Hwang EK. 2007. Summer algal flora of uninhabited islands in Docho-do, southwestern coast of Korea. *Algae* 22, 305-311.
- Russell BD, Thompson JI, Falkenberg LJ and Connell SD. 2009. Synergistic effects of climate change and local stressors: CO₂ and nutrient-driven change in subtidal rocky habitats. *Glo Cha Biol* 15, 2153-2162.
- Segawa S. 1956. Coloured illustration of the seaweeds of Japan. Hoikusha Publ. Co. Osaka, Japan, 1-195.
- Serisawa Y, Taino S, Ohno M and Aruga Y. 1998. Succession of seaweed on experimental plates immersed during different seasons in Tosa Bay, Japan. *Bot Mar* 41, 321-328.
- Shannon CE and Weaver W. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. Board of Trustees of Univ. III. Urbana, U.S.A., 1-117.
- Terawaki T, Arai S and Kawasaki Y. 1995. Methods of submarine forest formation considering local limiting factors of distribution. *Fish Engineer* 32, 145-154.
- Worm B, Lotze HK and Sommer U. 2000. Coastal food web structure, carbon storage, and nitrogen retention regulated by consumer pressure and nutrient loading. *Limnol Oceanogr* 45, 339-349.
- Yoo JS. 2003a. Dynamics of marine benthic community in intertidal zone of Seoam, Busan. *J Korean Soc Oceanogr* 8, 420-425.
- Yoo JS. 2003b. Structural characteristics of benthic algal community in the subtidal zone of Yeongil inner and outer Bay. *Algae* 18, 365-369.
- Yoshida T, Yoshinaga K and Nakajima Y. 1995. Check list of marine algae of Japan (revised in 1995). *Jpn J Phycol* 43, 115-171.

2010년 1월 14일 접수

2010년 5월 20일 수정

2010년 6월 15일 수리