

동해 왕돌초 조하대의 해조상과 군집구조

권천중 · 최창근^{1,*}

부경대학교 해양과학공동연구소
¹부경대학교 생태공학과

Marine Algal Flora and Community Structure in Subtidal Zone of Wangdol-Cho on the East Coast of Korea

CHUN JUNG KWON AND CHANG GEUN CHOI^{1,*}

Korea Inter-University Institute of Ocean Science, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
¹Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

한국 동해안 울진군에 위치한 왕돌초 조하대에서 2012년 5월부터 2013년 8월까지 계절별로 해조상 및 군집구조에 관한 연구를 수행하였다. 연구기간 동안 녹조류 12종, 갈조류 29종, 홍조류 81종을 포함한 122종이 채집 및 동정되었으며, 38종의 해조류는 조사지역에서 연중 출현하였다. 정점별 평균 생물량은 봄 472.19-1,198.77 g wet wt. m⁻², 여름 68.99-631.14 g wet wt. m⁻², 가을 200.91-401.20 g wet wt. m⁻², 겨울 53.61-922.32 g wet wt. m⁻²로 나타났다. 생물량에 근거한 왕돌초 해조류의 수직분포는 상부 개도박(*Grateloupia lanceolata*), 넓은분홍잎(*Acrosorium venulosum*), 마디잘록이(*Lomentaria catenata*), 중부 미역(*Undaria pinnatifida*), 참가시그물바탕말(*Dictyopteris pacifica*), 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 감태(*Ecklonia cava*), 하부 쇠꼬리산말(*Desmaestia viridis*), 감태(*E. cava*), 팽생이모자반(*S. horneri*) 순으로 확인되었다. 왕돌초에서 출현한 해조류를 6가지 기능형군에 따라 구분한 결과 사상형 34.43%, 성긴분지형 25.41%, 엽상형 24.59%, 다육질형 9.71%, 각상형 5.74%, 유절산호말형 0.82%로 확인되었다. 해조상의 특성을 반영하여 해조군락 특성을 판단할 수 있는 C/P, R/P, (R+C)/P 값은 각각 0.41, 2.79, 3.21로 나타났다. 또한, 왕돌초 조하대 군집 안정도와 환경상태를 다양도지수(H')와 우점도지수(DI)를 기초로 확인한 결과 안정된 것으로 나타났다. 왕돌초 조하대에 서식하는 해조류 종다양성 및 풍부도를 유지하기 위하여 교란이나 부영양화 같은 인간활동으로부터 보호되어야 할 것으로 판단된다.

Marine algal flora and community structure were investigated seasonally at three sites in subtidal zone of Wangdol-cho on the east coast of Korea from May 2012 to August 2013. A total of 122 species were collected and identified, including 12 green algae, 29 brown algae, and 81 red algae. Of these, 38 species were found throughout the survey period. Average seaweed biomass was 472.19-1,198.77 g wet wt. m⁻² in spring, 68.99-631.14 g wet wt. m⁻² in summer, 200.91-401.20 g wet wt. m⁻² in autumn, and 53.61-922.32 g wet wt. m⁻² in winter. The vertical distribution based on biomass were *Grateloupia lanceolata*, *Acrosorium venulosum*, *Lomentaria catenata* - *Undaria pinnatifida*, *Dictyopteris pacifica*, *Sargassum horneri*, *Ecklonia cava* - *Desmaestia viridis*, *E. cava*, *S. horneri* from upper to lower subtidal zone. The flora was classified into six functional groups: filamentous form (34.43%), coarsely branched form (25.41%), sheet form (24.59%), thick leather form (9.71%), crustose form (5.74%) and jointed calcareous form (0.82%). The C/P, R/P and (R+C)/P values reflecting the flora characteristics were 0.41, 2.79 and 3.21, respectively. Also, diversity index (H') and dominance index (DI) indicate that the algal community and environmental condition of Wangdol-cho is stable. We recommend that Wangdol-cho subtidal zone should be more protected from human activities such as turbulence and eutrophication in order to maintain species diversity and abundance of algae.

Key words: algal flora, community structure, Wangdol-cho, functional group, diversity index

서론

해조류는 연안생태계에서 일차생산자로서의 역할 뿐만 아니라 물질순환을 주도하고 생물자원, 유용 수산물의 산란, 서식지, 먹이원, 바이오 에너지원, 의약품 원료, 산업용 원재료 및 식품으로써 크게 기여하고 있으며, 오랫동안 인간에 의해 이용되고 있다(Choi *et al.*, 2008; Graham *et al.*, 2009). 또한 부영양화된 해역에서 바이오필터 기능에 의한 영양염 제거, 부착생물의 착생기질 등 해양생태계의 생물다양성을 증대시키는 역할을 한다(McCall *et al.*, 1999). 또한 부착생물로서 생물과 무생물학적 환경변화에 따라 종 다양성, 출현종 및 생물량이 변화하는 특징을 가지고 있어 생물지시자(bio indicator)로 사용이 가능하다(Arévalo *et al.*, 2007; Tribollet and Vroom 2007; Wells *et al.*, 2007).

한 지역의 해조군집은 서식지 형태를 변화시키는 생물들의 존재 여부에 의해 영향을 받는다(Thompson *et al.*, 1996; Bates and DeWreede, 2007). 최근 해양환경은 해양 산성화와 같은 전 지구적 변화와 영양염류의 증가와 같은 지역적인 특성과 복합하여 생태적인 변화를 가속시키고 있다(Russell *et al.*, 2009). 따라서 연구지역의 해조상과 해조군집 연구는 해당 지역의 해조류 분포에 관련된 정보와 지역 개체군에 대해 유용한 생태학적 정보를 제공해 준다는 점에서 매우 중요하며, 대상 지역 해조군집의 연구를 수행하여야 하는 필요성을 제시해 준다(Boo and Lee, 1986; Choi *et al.*, 2010).

왕돌초는 경북 울진군 후포항에서 동쪽으로 23 km 떨어진 곳에 위치한 거대 수중 암초로 3개의 수중 봉우리로 구성되어 남북으로 길게 뻗은 암반이며 서쪽은 급경사를 이루고 있는 반면, 동쪽은 비교적 완만한 경사를 가지고 있다. 크기는 남북으로 대략 6-10 km, 동서로는 약 6 km 남짓이며, 전체 면적은 약 15 km²에 이르는 넓은 면적을 형성하고 있다. 왕돌초는 동해 중부 연안역에 위치하여 북쪽에서 내려오는 북한한류와 남쪽의 대한해협을 통하

여 유입되는 대마난류의 영향을 받는다. 동해안의 깊은 수중에서 용기된 지역으로 용승과 외류가 활발한 지정학적 특징을 가지고 있어 해양 생산력이 매우 큰 해역이다(Lee and Myoung, 2003). 따라서 왕돌초 인근 해역의 해조류 생태를 정확히 파악하는 것은 동해 중부 해역의 환경변화를 모니터링하고 동시에 왕돌초를 수산자원이 풍부한 어장으로 관리하기 위한 기초 자료가 될 수 있다. 그러나 왕돌초 인근 해역에서 이루어진 해조류에 관한 연구는 KORDI(2004)와 NFRDI(2005)에 의해 두 차례 수행된 것에 그쳐 매우 빈약한 실정이다.

이 연구는 동해 중부 해역 왕돌초 조하대에 서식하는 해조류의 군집특성 및 변동을 명확하게 밝히기 위하여 연구 대상지역의 계절에 따른 각 수심별 해조군집의 변화를 확인하고, 서식해조류의 군집구조와 분포 특성 등 시공간적 변화 양상을 조사하여 왕돌초 조하대의 해조류 및 해양 생태계의 현 상태를 파악 할 수 있는 기초자료를 제공하고자 시도하였다.

재료 및 방법

이 연구는 2012년 5월부터 2013년 8월까지 경북 울진군 후포면 왕돌초 주변 조하대 조사지역의 해조류 식생을 대표할 수 있는 곳을 중심으로 5 m, 12 m, 18 m 수심에서 해조상 및 군집조사를 실시하였다(Fig. 1).

해조상과 해조군락의 분석을 위한 정량조사는 조사 대상 수심에서 0.5 m×0.5 m크기의 방형구를 3개씩 설치하여 해조류 각 종의 피도와 빈도를 기록하고(Saito and Atobe, 1970), 방형구내에 출현한 모든 해조류를 끝갈로 부착기부까지 전량 채집하였다. 또한 조사 정점 주변해역의 기질을 자세히 조사하면서 그곳에 서식하는 해조류를 정성적으로 채집하였다. 채집된 해조류는 현장에서 포르말린-해수 용액(5-10%)로 고정하여 실험실로 운반하여 분석하였다. 해조류의 종 동정은 광학현미경 및 해부현미경을 이용하

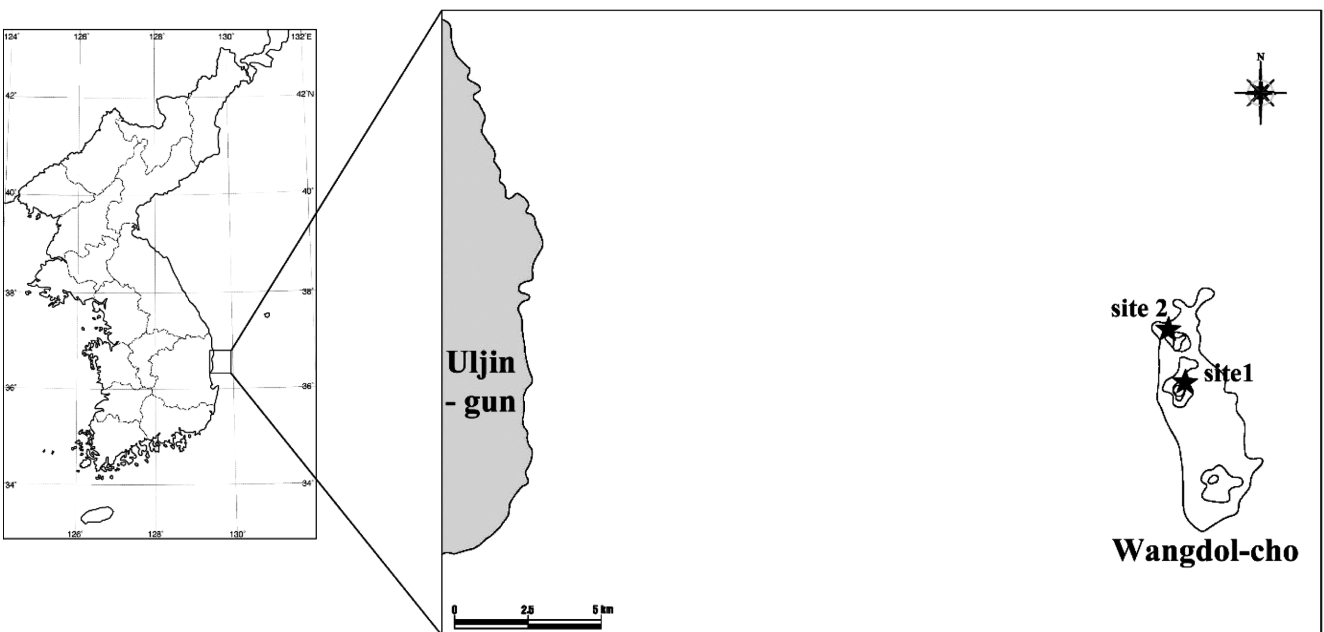


Fig. 1. A map showing sampling sites of marine algae in subtidal zone of Wangdol-cho, East coast of Korea (site 1; 5 m, site 2; 12 m, 18 m).

였고, Kang(1968), Yoshida(1998), Lee(2008) 등과 국내외 형태연구 논문을 참고하였다. 또한, 동정시 일부 홍조류는 명확한 종 동정을 위해 먼도칼을 이용하여 생식기관 및 엽체의 절편을 만들고, 소량의 페놀이 첨가된 10-20% Karo syrup으로 봉합하여 광학현미경으로 관찰 동정하였다. 동정된 해조류의 학명과 목록은 Lee and Kang(2002)의 분류 체계에 따라 작성하였으며, 명명규약상 이미 변경된 학명은 Algaebase(<http://www.algaebase.org>, Guiry and Guiry, 2014)를 이용하거나 최근 논문을 참고하여 작성하였다. 현존량은 방형구내 해조류를 실험실에서 담수로 수 차례 세척하여 모래 등의 불순물을 제거한 후 페이퍼 타월 등으로 습기를 제거한 뒤 습중량을 측정하여 단위면적(m²)당 생물량으로 환산하였다. 조사지역에서의 우점종 파악을 위하여 출현 종의 피도와 빈도를 기초로 상대피도, 상대빈도를 산출하였으며, 이것으로 중요도(Important Value: IV)를 계산하였다. 상대피도는 방형구 내 전 출현 종의 피도 합에 대한 대상종의 피도 백분율로, 상대빈도는 방형구 내 전 출현 종의 빈도 합에 대한 대상종의 빈도 백분율로 산출하였으며, 중요도는 상대피도와 상대빈도의 산술평균으로 나타내었다(Mueller-Dombois and Ellenberg, 1974; Lee et al., 2001; Sohn et al., 2007).

출현 종과 생물량 자료를 이용하여 풍부도지수(richness index, R), 균등도지수(evenness index, J'), 다양도지수(diversity index, H')를 계산하였다(Margalef, 1958; Fowler and Cohen, 1990). 우점도지수(dominance index, DI)는 제 1, 2 우점종 생물량의 합에 대한 전체 생물량의 비율로 산출하였다(McNaughton, 1967; Lee et al., 2007). 우점종(dominant species)은 군집 내에서 가장 보편적이고 높은 피도와 생물량을 보이는 종으로서 군집에 대한 상대적인 기여도로 산출되는 중요도를 기준으로 판정하는 것이 적절하다고 보고되어(Barbour et al., 1987; Koh, 1990), 우점도 지수에 사용된 우점종은 중요도에 의해 결정하였다. 해조류의 출현 종 자료를 이용한 계절에 따른 조사 정점별 유사도(similarity)는 유사도 지수 행렬로부터 각 조사 지역과 출현 종을 연결하는 방법으로 group-average를 이용하였다. 군집분석은 PRIMER (Plymouth Routines Multivariate Ecological Research) version 6.0을 이용하여 수지도(dendrogram)와 다차원 배열법(MDS)을 작성하였다(Clarke and Gorley, 2006). 한편, 조사지역 간 해조류의 형태적 차이와 생태적 특성 파악을 위한 기능군군 분석은 Littler and Littler(1984)의 6개 기능군군 분류형을 사용하여 분석하였다.

결 과

종조성

연구기간 동안 출현한 해조류는 총 122종으로 확인되었으며, 분류군별로는 녹조류 12종(9.84%), 갈조류 29종(23.77%), 홍조류 81종으로 홍조류의 출현 비율이 66.39%로 가장 높게 나타났다. 각 조사 시기별 출현 종 수는 겨울철에 녹조류 10종, 갈조류 27종, 홍조류 66종으로 총 103종이 출현하여 가장 많은 출현 종 수를 나타냈고, 봄에는 녹조류 12종, 갈조류 26종, 홍조류 59종으로 총 97종이, 여름에는 녹조류 7종, 갈조류 18종, 홍조류 42종으로 총 67종이 출현하였다. 가을에는 출현 종 수가 가장 적은 총 63종(녹조류 6종, 갈조류 15종, 홍조류 42종)이 출현하였다. 조사 시기에 따른

정점별 출현 종수의 경우, 27종에서 68종으로 가을철 가장 깊은 수심인 18 m에서 가장 적었고, 겨울철 5 m와 12 m에서 최대 출현 종 수를 나타내었다(Table 1).

전체 연구기간 동안 왕돌초에 연중 출현하는 해조류는 총 38종으로, 녹조류인 초록갈파래(*Umbraulva japonica*), 구멍갈파래(*Ulva pertusa*), 큰대마디말(*Cladophora japonica* var. *kajimura*), 참깃털말(*Bryopsis plumosa*), 방석청각(*Codium hubbsii*), 갈조류인 바위딱지(*Ralfsia verrucosa*), 혹세가닥갯쇠털(*Sphacelaria rigidula*), 참가시그물바탕말(*Dictyopteris pacifica*), 참가죽그물바탕말(*Dictyota coriacea*), 개그물바탕말(*Rugulopteryx okamurae*), 황색가시그물바탕말(*Spatoglossum crassum*), 불레기말(*Colpomenia sniuosa*), 반질불레기말(*C. peregrine*), 미역(*Undaria pinnatifida*), 외톨개모자반(*Myagropsis myagroides*), 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 홍조류인 가시홍다발술(*Colaconema hyalosiphoniae*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 흑돌잎(*Lithophyllum okamurae*), 낭과쩍(*Lithothamnion cystocarpioideum*), 우뚝가사리(*Gelidium elegans*), 개우무(*Pterocladia capillacea*), 진분홍딱지(*Hildenbrandia rubra*), 고등웃(*Peyssonnelia japonica*), 붉은까막살(*Grateloupia cornea*), 개도박(*G. lanceolata*), 분홍애기풀(*Binghamia californica*), 마디잘록이(*Lomentaria catenata*), 애기풀사돈(*Gloiocladia iyoensis*), 두갈래분홍치(*Rhodomenia intricate*), 참깃풀(*Antithamnion nipponicum*), 나도비단풀(*Ceramium affinis*), 오키비단잘록이(*Griffithsia okiensis*), 잔금분홍잎(*Acrosorium polyneurum*), 넓은분홍잎(*A. venulosum*), 가는보라색우무(*Symphyocladia linearis*), 넓은보라색우무(*S. marchantioides*), 애기보라색우무(*S. pennata*)였고, 이중 홍조류가 57.9%로 높은 비율을 차지하였다(Table 1).

계절별 조사 정점간 출현 종의 자료를 근거로 해조류의 군집구조 분석을 실시하여 수지도와 다차원 배열법으로 표현해보면 시간에 따라 다소 차이는 있으나, 2개의 그룹으로 구분되었다. 유사도 35% 수준에서 봄, 여름, 겨울철 깊은 수심 정점과 나머지 계절별 정점으로 구분되는 특징을 보였으나, 계절에 따른 정점별 출현 해조류의 유사도는 높지 않은 것으로 나타났다(Fig. 2).

생물량과 수직분포

이번 연구를 통하여 분석된 왕돌초의 정점별 평균 생물량은 Table 1과 같으며, 출현한 해조류의 연평균 생물량은 406.91 g wet wt. m⁻²로 봄철에 727.97 g wet wt. m⁻²로 최대값, 가을에 289.39 g wet wt. m⁻²로 최소값을 나타내었다(Fig. 3). 봄철의 경우, 수심 5m에서는 홍조류인 개도박(*G. lanceolata*)가 146.51 g wet wt. m⁻²로 최대 생물량을 보였고, 12 m 수심에서는 갈조류 미역(*U. pinnatifida*)가 496.05 g wet wt. m⁻², 수심 18m에서는 갈조류인 쇠꼬리산호말(*D. viridis*)이 117.71 g wet wt. m⁻²로 생물량이 가장 높았다. 여름철에는 각 수심별 정점에서 갈조류인 미역(*U. pinnatifida*)가 146.69 g wet wt. m⁻² (수심 5m), 참가시그물바탕말(*D. prolifera*)가 56.23 g wet wt. m⁻² (수심 12m), 홍조류인 넓은보라색우무(*S. maechantioides*)가 33.04 g wet wt. m⁻² (수심 18 m)로 가장 높은 생물량을 나타내었다. 가을에는 우뚝가사리(87.76 g wet wt. m⁻², 5m), 미역(81.56 g wet wt. m⁻², 12 m), 감태(114.02 g wet wt. m⁻², 18 m)가 가장 높은 생물량을 보였고, 겨울철의 경우 각각 홍조류인 넓은분홍잎(210.47 g wet wt. m⁻², 5m), 갈조류 감태(351.12 g wet

Table 1. A list of algal species and biomass (g wet wt. m⁻²), and functional (F) form at Wangdol-cho according to the survey period

Species	F-form	Spring			Summer			Autumn			Winter		
		5 m	12 m	18 m	5 m	12 m	18 m	5 m	12 m	18 m	5 m	12 m	18 m
Chlorophyta													
<i>Umbraulva japonica</i>	S	+	0.81	0.41	7.35		1.68	6.16			+	+	1.45
<i>Ulva fasciata</i>	S	2.71									+		
<i>Ulva pertusa</i>	S	3.77			7.63			+			2.07	+	
<i>Chaetomorpha spiralis</i>	F		0.04										
<i>Cladophora japonica</i> var. <i>kajimura</i>	F	0.05			+				0.24	0.88	+	+	0.11
<i>Bryopsis plumosa</i>	F	0.07			+	+		+		0.36	+	+	
<i>Bryopsis hyponides</i>	F		0.09	+			+					+	
<i>Bryopsis maxima</i>	F	0.03											
<i>Bryopsis</i> sp.	F	+	+									+	
<i>Codium fragile</i> var. <i>fragile</i>	CB	6.63	+	+			+					1.76	
<i>Codium hubbsii</i>	C	2.92		1.43		+	+		+		1.90	+	0.51
<i>Pedobesia ryukyuensis</i>	F		+						0.28				0.04
Phaeophyta													
<i>Ralfsia verrucosa</i>	C	+				+		+				+	
<i>Sphacelaria californica</i>	F		+	+								+	
<i>Sphacelaria fusca</i>	F							+				+	0.02
<i>Sphacelaria solitaria</i>	F		+	+									
<i>Sphacelaria rigidula</i>	F		+			+		+				+	
<i>Sphacelaria</i> sp.	F	+		+				+				+	
<i>Halopteris filicina</i>	F			0.25			+						0.02
<i>Dictyopteris latiuscula</i>	CB	9.56	12.33	5.77			+					+	0.88
<i>Dictyopteris pacifica</i>	CB		155.80		+	56.23							
<i>Dictyopteris prolifera</i>	CB				5.31	36.73	+	4.12	11.70	22.71	18.32	37.91	1.37
<i>Dictyopteris undulata</i>	CB	4.09	+	19.12							8.00	0.42	
<i>Dictyota coriacea</i>	S		7.28	+	+				+			3.42	13.34
<i>Dictyota dichotoma</i>	S	7.56										32.46	
<i>Dictyota friabilis</i>	S			1.81									
<i>Padina arborescens</i>	TL	4.25	+		+	+						7.18	
<i>Padina crassa</i>	TL		+		+							4.30	
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	S	3.17	+		2.61		3.69		1.08		5.18	20.04	2.87
<i>Spatoglossum crassum</i>	CB			39.17		18.35			+		+	+	
<i>Colpomenis sinuosa</i>	TL	0.39			+	+		+	+		+	+	
<i>Colpomenis peregrina</i>	TL		+	+				+			+	+	
<i>Carpomitra coastata</i>	CB	4.03	+	5.40			0.24					+	0.71
<i>Desmarestia viridis</i>	CB		114.43	117.71								1.12	21.59
<i>Desmarestia tabacoides</i>	S			2.41									+
<i>Ecklonia cava</i>	TL									114.02	+	351.12	
<i>Undaria pinnatifida</i>	TL	63.92	496.05	91.87	146.69	10.15	+		81.56		+	305.87	+
<i>Agarum clathratum</i>	TL			+								+	
<i>Myagropsis myagroides</i>	CB	+		26.57		+	+	+	+			+	+
<i>Sargassum horneri</i>	CB	35.88	+	97.28	63.67	32.80	+	21.33	62.83	8.94	86.81	30.50	+
<i>Sargassum yezoense</i>	CB	+	+			+					+		
Rhodophyta													
<i>Erythrotrichia cornea</i>	F			+	+	+	+		+				
<i>Acrochaetium catenulatum</i>	F	+	+		+							+	
<i>Acrochaetium</i> sp.	F		+	+									
<i>Colaconema codicola</i>	F					+						+	
<i>Colaconema daviesii</i>	F				+			+					
<i>Colaconema hyalosiphoniae</i>	F			+		+		+	+		+	+	
<i>Colaconema</i> sp.	F		+										
<i>Corallina pilulifera</i>	JC	0.85	+		0.33					1.70	2.76		
<i>Lithophyllum okamurae</i>	C	+	+		+			+			+	+	
<i>Lithothamnion</i> sp.	C		+	+									
<i>Lithothamnion cystocarpioideum</i>	C	0.89	+			+	0.73		0.84	1.10			1.58
<i>Geildium elegans</i>	CB	4.04	16.41		32.69			87.76	5.12	3.94	10.38	+	
<i>Pterocladia capillacea</i>	CB	3.81	7.80		13.89			21.92	2.01	0.70	+	+	
<i>Hildenbrandia rubra</i>	C	+	+	+	+	+	+	+			+	+	
<i>Bonnemaisonia hamifera</i>	F	+									+	+	
<i>Chondracanthus tenellus</i>	CB	1.45	1.56		+						+	+	
<i>Chondracanthus intermedia</i>	CB						0.23	18.84	5.96	1.24	1.33	0.04	0.49
<i>Chondrus ocellatus</i>	CB	5.73	+		74.11						1.18	+	
<i>Callophyllis adhaerens</i>	S		+				0.80					+	
<i>Callophyllis adnata</i>	S	1.37	+	+		+	0.94					+	1.76
<i>Callophyllis crispata</i>	S										0.92	+	
<i>Kallymenia crassiuscula</i>	S						+		+		+	+	
<i>Kallymenia harveyana</i>	S	+		+	+	+						+	

Table 1. Continued

Species	F-form	Spring			Summer			Autumn			Winter		
		5 m	12 m	18 m	5 m	12 m	18 m	5 m	12 m	18 m	5 m	12 m	18 m
<i>Kallymenia</i> sp.	S		+	+		4.17							
<i>Peyssonnelia japonica</i>	C			+		+	+	+			+	+	
<i>Schizymenia dubyi</i>	S				+			+					
<i>Grateloupia asiatica</i>	CB							3.24			+		
<i>Grateloupia cornea</i>	CB	+	+		33.53			1.08	1.24		+		
<i>Grateloupia lanceolata</i>	TL	146.51	56.98		101.52			60.64	1.96		91.58	+	
<i>Grateloupia sparsa</i>	TL			+									
<i>Grateloupia turuturu</i>	TL	2.69	4.03		2.39						8.55	+	
<i>Gracilaria textorii</i>	TL							12.84			+		
<i>Plocarium telfairiae</i>	CB	0.07	+	0.39					1.01	4.30	+	+	
<i>Binghamia californica</i>	CB	+			1.17			1.68	1.80	1.18	1.44	4.30	
<i>Lomentaria catenata</i>	CB	61.37	85.28	+	23.87	17.28	+				31.08	78.59	1.60
<i>Lomentaria hakodatensis</i>	CB	+						9.21	10.36	0.52	+	+	
<i>Gloiocladia iyoensis</i>	CB		0.43		3.41			17.21	+		2.34	0.09	
<i>Rhodymenia adnata</i>	S	+										+	
<i>Rhodymenia intricata</i>	S	1.31	0.93	1.80	+	1.97	0.16	2.48		2.40	0.23	2.00	0.11
<i>Antithamnion callocladus</i>	F		+				+						
<i>Antithamnion nipponicum</i>	F			+	+	+		+			0.06	+	
<i>Antithamnion okiense</i>	F		+										0.02
<i>Antithamnion sparsum</i>	F												0.02
<i>Ceramium aduncum</i>	F							7.61					
<i>Ceramium affinis</i>	F		+		+				0.04		+	+	
<i>Ceramium cimbricum</i>	F		+								0.01	0.23	
<i>Ceramium</i> sp.	F			+									0.02
<i>Crouania attenuata</i>	F												
<i>Griffithsia okiensis</i>	F		0.03	+	+						0.16	0.36	
<i>Herpochondria corallinae</i>	S										0.58		
<i>Herpochondria dentata</i>	S		+	+			0.76						
<i>Herpochondria elegans</i>	S									0.72		0.43	0.33
<i>Pterothamnion intermedium</i>	F		+	+			+					+	0.08
<i>Pterothamnion yezoense</i>	F												0.32
<i>Dasyisiphonia japonica</i>	F	0.07	12.80	1.57	+		0.36				+	13.02	0.09
<i>Heterosiphonia pulchra</i>	F								0.04	0.48	0.02	3.62	0.70
<i>Acrosorium flabellatum</i>	S	1.61	0.57								25.22		
<i>Acrosorium polyneurum</i>	S		14.65	6.89	5.86	5.01		17.24	+		3.10		
<i>Acrosorium uncinatum</i>	S		25.49	10.41	19.04	+	6.35					30.81	
<i>Acrosorium venulosum</i>	S	89.40	105.66	8.41	86.07		3.64	69.12		45.18	210.47	16.85	0.23
<i>Acrosorium yendoi</i>	S							3.68		6.58	5.84	1.05	0.07
<i>ErythroGLOSSUM minimum</i>	S	0.03	0.32			+							
<i>ErythroGLOSSUM pinnatum</i>	S		0.27	0.23								0.62	+
<i>Schizoseris subdichotoma</i>	S		0.15									0.15	
<i>Sorella repens</i>	S								0.12	0.44		1.09	
<i>Gloiocladia leptophylla</i>	CB		+									+	0.76
<i>Ardissonula regularis</i>	F								+	7.76			0.19
<i>Chondria crassicaulis</i>	CB	+									+	+	
<i>Laurencia intricata</i>	CB	+										3.51	
<i>Laurencia pinnata</i>	CB		+	+								+	3.07
<i>Laurencia venusta</i>	CB							34.60				+	
<i>Laurencia</i> sp.	CB	+		+								+	
<i>Neosiphonia decumbens</i>	F							0.04	0.16			0.04	
<i>Neosiphonia yendoi</i>	F			+								+	+
<i>Neosiphonia</i> sp.	F		+	+								+	+
<i>Polysiphonia atlantica</i>	F							0.04				+	+
<i>Polysiphonia morrowii</i>	F	1.48	+	0.61								1.18	1.73
<i>Symphyocladia latiuscula</i>	F									0.52	7.56	+	+
<i>Symphyocladia linearis</i>	CB		77.65	44.92				16.37			0.94	77.20	7.56
<i>Symphyocladia marchantioides</i>	S	0.48	0.93	28.53			33.04			0.58		2.80	1.42
<i>Symphyocladia penata</i>	CB		+		+			0.36				+	0.19
Biomass (g wet wt. m ⁻²)		472.19	1,198.77	512.96	631.14	182.69	68.99	401.20	200.91	266.05	620.11	922.32	53.61
Chlorophyta		9	6	4	4	2	4	3	3	2	8	6	4
Phaeophyta		13	16	17	9	12	8	9	9	4	18	15	11
Rhodophyta		30	44	30	27	15	18	26	20	21	42	49	21
Total		52	66	51	40	29	30	38	32	27	68	70	96

+, present; CB, Coarsely-branched form; F, filamentous form; S, Sheet form; TL, Thick-leathery form; JC, Joint-calcareous form; C, Crustose form

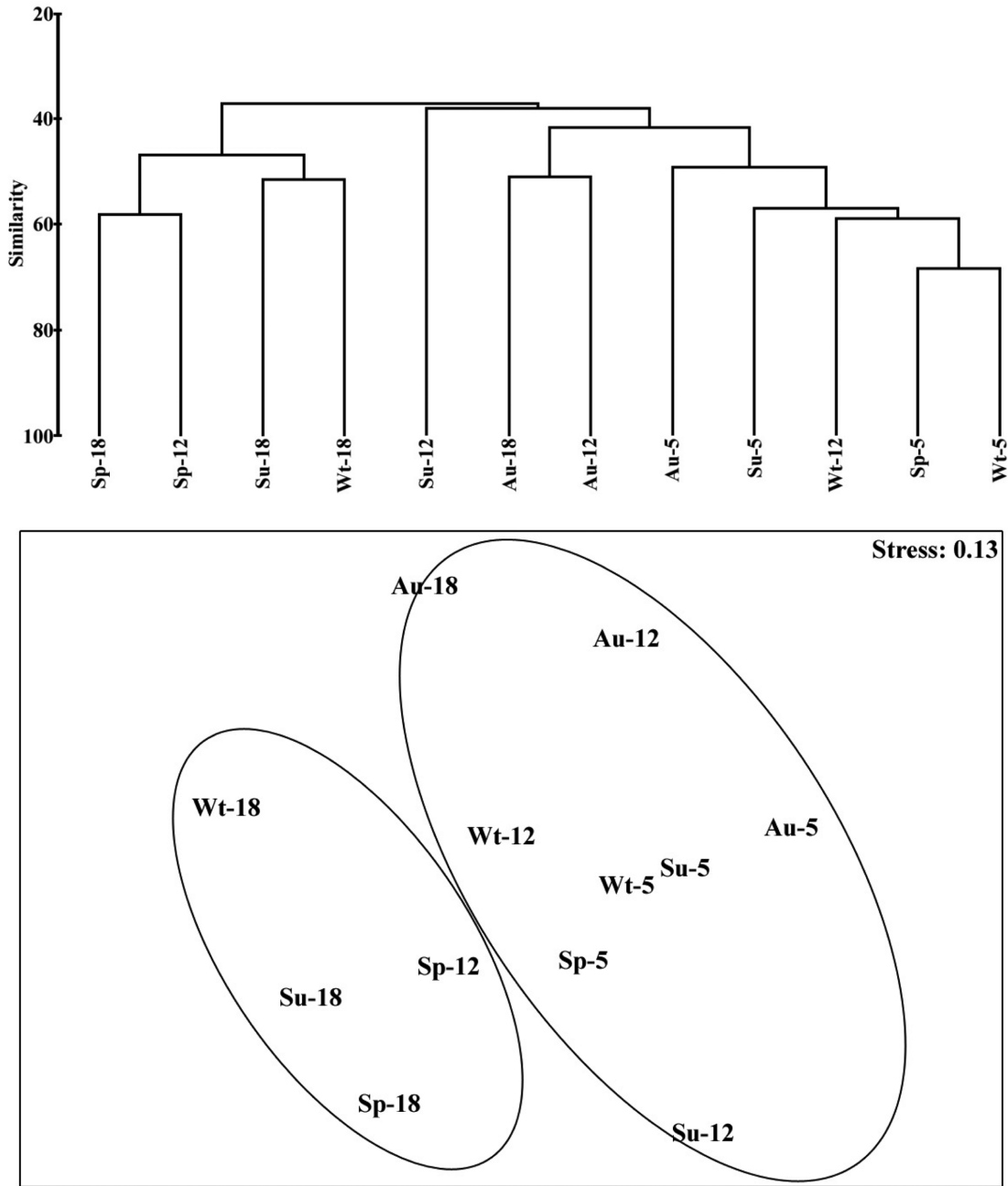


Fig. 2. Dendrogram for hierarchical clustering of macroalgal assemblage based on bray curtis similarity and multidimensional scaling (MDS) ordination. Sp; Spring, Su; Summer, Au; Autumn, Wt; Winter.

wt. m², 12 m)와 쇠꼬리산말(21.59 g wet wt. m², 18 m)이 가장 큰 생물량을 나타내었다.

계절별 생물량에 따른 해조류의 수직분포는 봄철 개도박, 넓은 분홍잎, 마디잘록이(상부) - 미역, 참가시그물바탕말, 쇠꼬리산말, 넓은분홍잎(중부) - 쇠꼬리산말, 팽생이모자반, 쇠꼬리산말(하부)의 순서로 나타났으며, 여름철에는 미역, 개도박(상부) - 참가시그물바탕말(중부) - 넓은보라색우무(하부)로 조사되었다. 가을철은 우뚝가사리, 넓은분홍잎, 개도박(상부) - 미역, 팽생이모자반(중부) - 감태(하부), 겨울철에는 넓은분홍잎, 개도박, 팽생이모자반(상부) - 감태, 미역(중부) - 쇠꼬리산말(하부) 순서로 나타났다(Table 2).

중요도

중요도(importance value)가 5.0이상인 출현종은 Table 3과 같다. 4계절 모두 출현하며 중요도가 5.0이상인 종은 갈조류 참가시그물바탕말, 미역, 팽생이모자반과 홍조류 개도박, 마디잘록이, 넓은분홍잎이다. 중요도를 기준으로 선정된 제 1, 2 우점종(dominant species)은 봄에 쇠꼬리산말(28.6)과 미역(23.5)이었고, 여름에 미역(16.7)과 팽생이모자반(11.4)이었다. 가을과 겨울의 제 1 우점종은 넓은분홍잎(가을; 10.3, 겨울; 20.1)으로 조사되었고, 우뚝가사리(가을; 9.7)와 미역(겨울; 19.8)이 제 2 우점종으로 각각 확인되었다.

중요도가 5.0 이상으로, 연중 출현하는 종의 계절적 생물량은

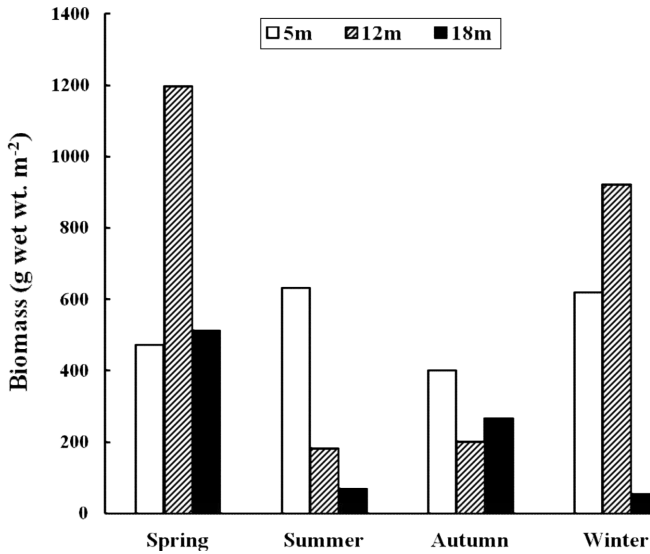


Fig. 3. Seasonal seaweed biomass along different depth gradients at Wangdol-cho, Uljin Korea.

Fig. 4와 같다. 연중 출현하는 종 중 미역의 생물량은 81.56 g wet wt. m⁻² - 651.84 g wet wt. m⁻²으로, 가을철을 제외한 계절에 다른 해조류 보다 높은 생물량을 나타냈으며, 중요도는 가을에 최소값(9.2)을 봄에 최대값(23.5)을 보였다(Table 3).

기능형 및 생태학적 상태그룹

왕돌초에 출현한 해조류 122종을 기능형별로 구분하면, 사상형 42종(34.43%), 성긴분기형 31종(25.41%), 엽상형 30종(24.59%), 다육질형 11종(9.01%), 각상형과 유절산호말형이 각각 7종(5.74%), 1종(0.82%)으로 나타났다(Table 4). 계절별로는 봄에 출현한 97종 중 사상형 30종(30.93%), 성긴분기형 27종(27.84%), 엽상형 23종(23.71%), 각상형 7종(7.21%)으로 조사되었다. 여름에 출현한 67종 중 성긴분기형이 21종(31.35%)으로 최대 그룹을 보였으며, 엽상형 17종, 사상형 16종, 다육질형 7종, 각상형 5종, 유절산호말형 1종이 관찰되었다. 가을에는 성긴분기형과 사상형이 각 18종(28.57%)으로 나타났으며, 엽상형이 14종, 다육질형과 각상형이 각 6종 출현하였으며, 유절산호말형은 1종 관찰되었다. 겨울에는 총 103종의 해조류가 출현하였으며, 사상형 31종, 성긴분기형 30종, 엽상형 25종, 다육질형 10종, 각상형 6종, 유절산호말형 1종으로 구분되었다(Fig. 5). 계절에 따라 왕돌초에 출현하는 해조류는 봄과 겨울에는 사상형,

Table 3. The important value (more than 5) of dominant species at Wangdol-cho, Uljin, Korea

Species Name	Spring	Summer	Autumn	Winter
<i>Dictyopteris latiuscula</i>	5.3			
<i>Dictyopteris pacifica</i>	10.2	7.9	5.7	7.6
<i>Dictyopteris prolifera</i>		5.4		
<i>Dictyopteris undulata</i>	5.2			
<i>Dictyota coriacea</i>				5.0
<i>Dictyota dichotoma</i>				6.9
<i>Rugulopteryx okamurae</i>				5.7
<i>Spatoglossum crassum</i>	6.4			
<i>Desmarestia viridis</i>	28.6			5.2
<i>Ecklonia cava</i>			6.7	7.9
<i>Undaria pinnatifida</i>	23.5	16.7	9.2	19.8
<i>Myagropsis myagroides</i>	5.4			
<i>Sargassum horneri</i>	17.4	11.4	7.2	12.1
<i>Geildium elegans</i>	5.1	5.7	9.7	
<i>Pterocladia capillacea</i>			5.4	
<i>Chondracanthus intermedia</i>			6.2	
<i>Chondrus ocellatus</i>		7.2		
<i>Grateloupia lanceolata</i>	7.9	5.7	6.0	9.7
<i>Lomentaria catenata</i>	13.5	6.1	5.7	12.0
<i>Lomentaria hakodatensis</i>			5.2	
<i>Acrosorium flabellatum</i>				5.4
<i>Acrosorium uncinatum</i>	5.5	5.1		7.6
<i>Acrosorium venulosum</i>	18.2	7.2	10.3	20.1
<i>Symphyocladia linearis</i>	13.7			9.9
<i>Symphyocladia marchantioides</i>		5.1		

여름에는 성긴분지형, 가을에는 성긴분지형과 사상형이 대표적 기능형군인 것으로 확인되었다. 출현 해조류를 생태학적 상태그룹 (ecological state group, ESG)으로 구분하여 보면, ESG I에 속하는 해조류가 19종(15.57%), 교란이나 환경오염이 상대적으로 높은 해역에 출현하는 ESG II에 속하는 해조류가 103종으로 전체 출현종의 84.43%를 차지하였다. 계절에 따라 기회종인 ESG II에 속하는 출현종수는 봄에 80종(82.48%), 여름 54종(80.60%), 가을 50종(79.36%), 겨울에 86종(84.43%)로 겨울에 가장 높은 비율을 보였으며, 출현 종수 또한 겨울철에 최대로 나타났다(Table 1).

군집지수

본 연구기간 동안 출현한 해조류의 생물량을 이용하여 산출한

Table 2. Vertical distribution of Dominant macroalgal species based on biomass (g wet wt. m⁻²) at Wangdol-cho, Uljin, Korea

Level	Spring	Summer	Autumn	Winter
Upper	<i>Grateloupia lanceolata</i> , <i>Acrosorium venulosum</i> , <i>Lomentaria catenata</i>	<i>Grateloupia lanceolata</i>	<i>Geildium elegans</i> , <i>Acrosorium venulosum</i> , <i>Grateloupia lanceolata</i>	<i>Acrosorium venulosum</i> , <i>Grateloupia lanceolata</i> , <i>Sargassum horneri</i>
Middle	<i>Undaria pinnatifida</i> , <i>Dictyopteris pacifica</i> , <i>Acrosorium venulosum</i> , <i>Desmarestia viridis</i>	<i>Dictyopteris pacifica</i>	<i>Undaria pinnatifida</i> , <i>Sargassum horneri</i>	<i>Ecklonia cava</i> , <i>Undaria pinnatifida</i>
Lower	<i>Undaria pinnatifida</i> , <i>Sargassum horneri</i> , <i>Desmarestia viridis</i>	<i>Symphyocladia marchantioides</i>	<i>Ecklonia cava</i>	<i>Desmarestia viridis</i>

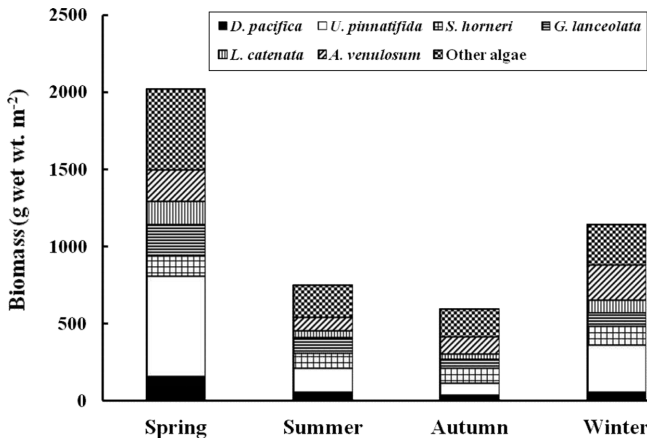


Fig. 4. Algal biomass of the major algal species (IV>5.0) and appeared species of study site at Wangdol-cho, Uljin, Korea.

다양한 군집지수를 살펴보면, 우점도지수(DI)는 0.22-0.40의 범위이며, 제 1, 2 우점종인 쇠꼬리산말과 미역이 전체 생물량(727.97 g wet wt. m⁻²)의 40.48% (294.66 g wet wt. m⁻²)를 차지하는 봄철에 최대였다(Table 5). 출현종수와 관련된 풍도지수(R)는 9.16-13.86으로 가을에 최소값(9.16) 그리고 103종이 출현한 겨울에 최대값

(13.86)으로 나타났다. 출현종수와 생물량에 따라 변화하는 균등도 지수(J')는 0.54-0.68로써 가을철이 최대였고, 겨울철이 최소였다. 풍도와 균등도 지수로 산출된 다양도지수(H')는 봄에 최저(2.49)였고, 가을에 최대값(2.82)을 나타내었다.

해조상의 지역적 특성을 나타내는데 유용한 계절별 C/P 값은 0.37-0.46의 범위로 사계절 중에서 녹조류가 10종, 갈조류가 최대 27종이 출현한 겨울에 최저였고, 봄에 최대였다(Table 5). 계절별 R/P 값은 2.27-2.80이며 사계절 출현종에 대한 R/P 값은 2.79이었으며, 여름에 최저, 가을에 최대로 나타났다. (R+C)/P 값의 경우는 여름에 2.72로 최소, 가을에 3.20으로 최대였으며, 왕돌초 조하대의 사계절 출현 종에 대한(R+C)/P 값은 3.21로 확인되었다(Table 6).

고찰

해조류는 최근 수질평가의 생물학적 지표자(biological indicator)로 유럽에서 이용하고 있으며, 해조상의 구성과 출현종수는 연안의 생태학적 상태(ecological status)를 평가하는데 중요하게 사용되고 있다(Arévalo et al., 2007; Wells et al., 2007). 이번 연구기간 동안 왕돌초 주변 조하대에서 채집된 해조류는 녹조류 12종, 갈조류 29종, 홍조류 81종으로 총 122종이었으며, 계절별 출현종은 63-103종으로 계절에 따라 차이를 나타내었다. 이전에 본 조사 해역

Table 4. Composition ratio (%) of marine algal functional form group at Wangdol-cho, Uljin, Korea

Functional form	Spring	Summer	Autumn	Winter	Total
Coarsely-branched	27.84	31.35	28.57	29.13	25.41
Filamentous	30.93	23.88	28.57	30.10	34.43
Sheet	23.71	25.37	22.22	24.27	24.59
Thick-leathery	9.28	10.45	9.52	9.71	9.01
Joint-calcareous	1.03	1.49	1.59	0.97	0.82
Crustose	7.21	7.46	9.53	5.82	5.74

Table 5. Seasonal biomass, various community indices and distributional patterns of algal species at Wangdol-cho, Uljin, Korea

Community indices	Spring	Summer	Autumn	Winter
Biomass (g wet wt. m ⁻²)	2183.63	882.64	867.78	1596.04
Dominance index (DI)	0.40	0.29	0.26	0.36
Diversity index (H')	2.49	2.70	2.82	2.52
Richness index (R)	12.49	9.73	9.16	13.86
Evenness index (J')	0.55	0.64	0.68	0.54
Chlorophyta/Phaeophyta (C/P)	0.46	0.39	0.40	0.37
Rhodophyta/Phaeophyta (R/P)	2.27	2.33	2.80	2.44
(R+C)/P	2.73	2.72	3.20	2.81

Table 6. Comparison of flora characteristics among the references at Wangdol-cho and its vicinity area

References	Flora characteristics			Site
	C/P	R/P	(R+C)/P	
KORDI (2004)	0.12	0.63	0.75	Wangdol-cho (2002)
	0.29	0.86	1.14	Wangdol-cho (2003)
	0.27	0.91	1.17	Wangdol-cho (2004)
NFRDI (2005)	0.2	1.47	1.67	Wangdol-cho
Choi et al. (2006)	0.43	1.87	2.3	Uljin
This study	0.41	2.79	3.21	Wangdol-cho

에 보고된 출현종수와 비교해보면, 2002년 14종, 2003년 30종, 2004년 26종(KORDI, 2004)과 2005년 40종(NFRDI, 2005)에 비해 많은 해조류가 출현하는 것으로 조사되었다. 이러한 출현종의 차이는 이전의 조사 및 연구가 일부 계절에 국한되어 수행된 점, 조사지역에서의 광범위한 정성조사가 이루어지지 않은 데에서 비롯된 결과로 판단되었다. 또한, 왕돌초 인근 해역의 연구 결과와 비교하면, 울진 87종(Choi *et al.*, 2006), 갈남 93종(Chung *et al.*, 1991) 보다는 다소 많은 출현 종을 가지며, 독도 159종(Oak and Oh, 2006), 131종(Kim *et al.*, 2008)과 유사한 출현 종수를 가지는 것으로 확인되어 연안오염, 갯녹음 등 인위적인 간섭에 비교적 영향을 받지 않는 외해의 특징을 나타내는 것으로 판단되었다.

왕돌초 각 조사 정점의 계절별 생물량은 봄철의 경우 472.19-1,198.77 g wet wt. m², 여름철 68.99-631.14 g wet wt. m², 가을철에는 200.91-401.20 g wet wt. m²이었고 겨울철에는 각 정점별로 53.61-922.32 g wet wt. m²로 나타났다. 이전에 왕돌초 해역에서 조사된 해조류 생물량 자료는 없기 때문에 이번 조사 결과와 직접 비교하기는 불가능했다. 다만 왕돌초 해역의 서쪽에 위치한 울진(Choi *et al.* 2006) 지역의 생물량은 가을철(14,318.4 g wet wt. m²)에 가장 높았고, 봄(6,861.3 g wet wt. m²), 겨울(6,297.4 g wet wt. m²), 여름(1,050.7 g wet wt. m²) 순으로 감소하는 결과를 보여 이번 연구결과에 비하여 매우 높은 값을 나타냈다. 울진 인근의 경우 계절에 따라 모든 수심에서 주로 갈조류에 의하여 생물량이 높게 나타난 것으로 나타났으나(Choi *et al.*, 2006), 이번 연구의 경우 대형 갈조류의 생물량이 전 계절동안 각 정점에서 낮은 값을 나타냈다. 또한, 2004년과 2005년 연구조사(KORDI, 2004; NFRDI, 2005)에서 연중 출현하는 것으로 보고된 감태(*Ecklonia cava*)가 이번 연구에서는 가을과 겨울에만 국한적으로 관찰되었으며, 생물량 또한 높지 않은 데에서 비롯된 결과로 판단된다.

왕돌초 해역 해조류의 수직분포는 계절별로 차이는 있지만 조사지역의 상부에는 개도박(*G. lanceolata*), 넓은분홍잎(*A. venulosum*), 마디잘록이(*L. catenata*) 등의 홍조류가 우점하였으며, 중부에는 미역(*U. pinnatifida*), 참가시그물바탕말(*D. pacifica*), 팽생이모자반(*S. horneri*), 감태(*E. cava*), 하부에는 쇠꼬리산말(*D. viridis*), 감태(*E. cava*), 팽생이모자반(*S. horneri*)의 구조를 보였다. 이는 조하대 상부 우점종이 구멍갈파래, 청각, 미역, 애기다시마로 보고한 Choi *et al.*(2006)의 울진 해역 조하대 해조류 수직분포와 상부에서는 차이를 보이지만 중부와 하부에서는 유사한 분포 양상을 나타내었다. 이같이 조하대 상부를 구성하고 있는 해조류의 차이는 조사지 위치에 따른 공간적인 차이에 의한 것으로 보여진다.

Sohn(1987)은 우리나라 서, 남해안에 출현하는 해조류의 기능형군별 구성비는 성긴분기형과 사상형의 비율이 다른 기능형군의 비율에 비하여 높고, 엽상형, 다육질형, 각상형, 유절산호말형 순

으로 출현한다고 보고하였다. Choi(2008)에 의해 수행된 동해안 연구에서도 성긴분기형-사상형-엽상형-다육질형-유절산호말형-각상형 순으로 다른 해역과 유사한 결과를 얻었다. 이번 연구를 통하여 왕돌초에서 출현한 해조류를 기능형군으로 구분하면, 사상형(34.43%), 성긴분기형(25.41%), 엽상형(24.59%), 다육질형(9.71%), 각상형(5.74%), 유절산호말형(0.82%) 순으로 나타나, 성긴분기형과 사상형의 구성비율이 가장 높게 나타난다는 이전의 연구들과는 유사한 양상을 보였다.

해조류의 지리적 분포양상과 특색을 분석하기 위하여 각 분류군의 출현종수를 근거로 Feldmann(1937)은 R/P 값을, Segawa(1956)는 C/P 값을 이용하여 한대에서 열대 지역까지 구분하였다. Cheney(1977)는 (R+C)/P 값이 3 이하면 온대 및 한대성 해조상, 6 이상이면 열대성 해조상, 3-6 범위에 있으면 혼합 해조상의 특징을 나타낸다고 하였다. 이 연구 결과 왕돌초의 R/P 값은 2.79, C/P 값은 0.41, (R+C)/P 값은 3.21로 나타났다. 기존의 연구결과와 비교해보면 인근 지역인 울진에서 이루어진 Choi *et al.*(2006)의 결과와 유사한 혼합성 해조상의 특징을 나타내었다(Table 6).

해조류의 종 다양성 및 자원량 유지는 서식처의 환경상태와 밀접한 관련을 가지며, 교란이나 부영양화 같은 환경적인 스트레스는 해조류 군집의 안정도에 영향을 주기 때문에 다양한 해조류 군집지수와 출현종에 관한 자료는 환경상태를 나타내는 지시표자 역할을 한다(Orfanidis *et al.*, 2001; Pinedo *et al.*, 2007). 생물량을 근거로 산출된 다양한 군집지수 중 우점도지수와 다양도지수는 반비례적 관계를 가진다. 우점도지수, 다양도지수, 단계별 중간경쟁, 군집안정도 및 환경상태의 상호관계는 Table 7과 같다(Park *et al.*, 2006). 왕돌초 조하대의 군집안정도와 환경상태를 우점도지수로 판단해 보면 전 계절 0.226-0.40 범위의 우점도지수를 나타내고 있어 군집안정도는 안정(stable)하며, 환경상태 또한 정상(normal)인 것으로 평가된다. 또한, 종다양성지수도 2.49-2.82 범위로 해조류의 서식환경이 양호한 것으로 나타났다.

이상의 결과로 볼 때, 왕돌초 조하대 해조류의 식생은 인근 울진해역에서 수행된 연구결과(Choi *et al.* 2006)와 유사하고, 이전의 왕돌초 조사결과(KORDI, 2004; NFRDI, 2005)에 비하여 풍부한 해조상을 나타내는 것으로 조사되었다. 그러나 이전의 조사에서 연중 출현하는 감태가 이번 조사에서는 가을과 겨울에 국한되어 매우 빈약하게 출현하는 결과를 보였다. 이러한 현상이 인위적인 요인에 의하여 일어나는 것인지 자연현상으로 일어나는 것인지는 일년간의 조사를 통하여 결론 내리는 것에는 무리가 따른다.

이전의 왕돌초 조사는 해조류의 출현종 및 조하대에 해중림을 이루는 감태에 초점을 맞추어 수행되었을 뿐 조사해역의 군집구조 또는 생물량 등 다양한 관점에서 연구가 이루어지지 않았다. 이번 연구 결과를 통해 안정된 군집을 형성하며 해조류 서식에 적

Table 7. The evaluation of community stability and environmental condition according to diversity and dominance indices based on biomass (g wet wt. m²) (Park *et al.*, 2006).

Diversity index (H')	Dominance index (DI)	Interspecific competition	Community stability	Environmental condition
0.00-1.00	0.90-1.00	no	extreme stable	very bad
1.00-2.00	0.70-0.90	weak	unstable	bad
2.00-3.00	0.50-0.70	normal	normal	normal
3.00-4.00	0.25-0.50	high	stable	good
> 4.00	< 0.25	very high	very stable	very good

합한 환경을 나타내고 있는 왕돌초 조하대 지역 또한 최근 수온 상승, 영양염, 파랑 등과 같은 해황 변동 현상과 성계와 같은 조식동물에 의한 섭식압 증가, 연안 개발 등에 의한 갯녹음의 가속화가 빠르게 진행되고 심화 된다면 해조류의 종조성 및 생물량이 감소될 것으로 판단된다. 따라서 왕돌초 해역의 해조류 종 다양도 및 해조류 식생 변화에 대한 면밀하고 장기적인 모니터링을 실시하여 건강한 해조 군집의 유지 관리 등을 위한 연구가 필요한 시점으로 판단된다.

사 사

이 논문은 부경대학교 해양과학공동연구소의 지원을 받아 수행하였습니다.

참고문헌(Reference)

- Arévalo, R., S. Pinedo, and E. Ballesteros, 2007. Changes in the composition and structure of Mediterranean rocky-shore communities following a gradient of nutrient enrichment: Descriptive study and test of proposed methods to assess water quality regarding macroalgae. *Mar. Poll. Bull.*, **55**: 104–113.
- Barbour, M.G., J.H. Burk, and W.D. Pitts, 1987. *Terrestrial Plant Ecology*. The Benjamins and Cumming Pub. Co., Inc.
- Bates, C.R. and R.E. DeWreede, 2007. Do changes in seaweed biodiversity influence associated invertebrate epifauna? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **344**: 206–214.
- Boo, S.M. and I.K. Lee, 1986. Studies on benthic algal community in the east coast of Korea. 1. Floristic composition and periodicity of a Sokcho rocky shore. *Korean J. Phycol.*, **1**: 107–116.
- Cheney, D.P., 1977. R & C/P - A new and improved ratio for comparing seaweed floras. *Suppl. J. Phycol.*, **13**: 129.
- Choi, C.G., S.N. Kwak, and C.H. Sohn, 2006. Community structure of subtidal marine algae at Uljin on the east coast of Korea. *Algae*, **21**: 463–470.
- Choi, C.G., M.T.H. Chowdhury, I.Y. Choi, and Y.K. Hong, 2010. Marine algal flora and community structure in Kijang on the southern east coast of Korea. *The Sea*, **15**: 133–139.
- Choi, C.G., J.H. Kim, and I.K. Chung, 2008. Temporal variation of seaweed biomass in Korean coasts: Yokjido, Gyeongnam Province. *Algae*, **23**: 311–316.
- Chung, H., H.J. Lee, and I.K. Lee, 1991. Vertical distribution of marine algae on a Gallam rocky shore on the mid-east coast of Korea. *Algae*, **6**: 55–67.
- Clarke, K.R. and R.N. Gorley, 2006. *PRIMER V6: user manual/tutorial*. PRIMER-E Ltd, Plymouth, USA, 190pp.
- Dawes, C.J., 1998. *Marine botany*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 628pp.
- Dring, M.J., 1982. *The biology of marine plants*. Cambridge University Press, London.
- Feldmann, J. 1937. Recherches sur la vegetation marine de la Mediterranee. La cote des Alberes. *Rev. Algol.* **10**: 1–339.
- Fowler, J. and L. Cohen, 1990. *Practical statistics for field biology*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 227pp.
- Guiry, M.D. and G.M. Guiry, 2014. *Algaebase*. National University of Ireland, Galway. Available from: <http://www.algaebase.org>. Accessed May 19, 2014.
- Kang, J.W., 1968. *Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea*. Vol. 8 Marine algae. Samhwa Press, Seoul, Korea.
- Kim, H.S., I.K. Hwang, S.M. Kim, and C.J. Kwon, 2008. Phylogeographical features and marine algal flora of Dok island (East Coast, Korea). *Kor. J. Nat. Conserv.*, **2**: 38–58.
- Koh, N.P., 1990. An ecological study of resources of marine plants in Geomundo Islands. *Algae*, **5**: 1–37.
- KORDI, 2004. *Ecological study in Wangdol-cho surrounding sea area*. II. A benthic ecological research.
- Lee, K.H., H.I. Yoo, and H.G. Choi, 2007. Seasonal community structure and vertical distribution of medicinal seaweeds at Kkotji in Taean Peninsula, Korea. *Algae*, **22**: 209–219.
- Lee, J.W., Y.H. Kim, and H.B. Lee, 2001. The community structure of intertidal marine benthic algae in the east coast of Korea. II. Sokcho. *Algae*, **16**: 113–118.
- Lee, K.N. and J.G. Myoung, 2003. Sustainable utilization and management scheme in Wangdol-cho surrounding sea area. *Ocean and Polar Research*, **25**: 331–345.
- Lee, Y.P. 2008. *Marine algae of Jeju*. Academy Press, Seoul, 477 pp.
- Lee, Y.P. and S.Y. Kang, 2002. *A catalogue of the seaweeds in Korea*. Cheju National University Press, Cheju.
- Littler, M.M. and D.S. 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.
- Margal, R. 1958. *Information theory in ecology*. General Systematics, **3**: 36–71.
- McCall, R.K., C.A. Moncreiff, T.A. Randall, J.D. Caldwell, and B.R. Blackburn, 1999. Seagrass epiphytes: Contributions to local chlorophyll a concentration. *Gulf Research Reports*, **11**: 74.
- McNaughton, S.J., 1967. Relationship among functional properties of California Grassland. *Nature*, **216**: 168–169.
- Mueller-Dombois, D. and H. Ellenberg, 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*, John Wiley and Sons, New York, 547 pp.
- Neushul, M., 1967. *Studies of subtidal marine vegetation in western Washington*. *Ecology*, **48**: 83–94.
- NFRDI, 2005. *A study on synthetic utilization of Wangdol-cho area in the East Sea of Korea*.
- Oak, J.H. and Y.S. Oh, 2006. *Dokdo survey report - Algae of Dokdo*.
- Orfanidis, S., P. Panayotidis and N. Stamatis, 2001. Ecological evaluation of transitional and coastal and water; A marine benthic macrophytes-based model. *Mediterranean Marine Science*, **2**: 45–65.
- Park, Y.K., K.S. Seo, and C.K. Choi, 2006. *Environmental biology*. Daehakseolim, Seoul.
- Pinedo, S., M. Gracia, M.P. Satta, M. Torres, and E. Ballesteros, 2007. Rocky-shore communities as indicators of water quality; A case study in the Northwestern Mediterranean, *Mar. Pollut. Bull.*, **55**: 126–135.
- Russell, B.D., J.I. Thompson, L.J. Falkenberg, and S.D. Connell, 2009. Synergistic effects of climate change and local stressors: CO₂ and nutrient-driven change in subtidal rocky habitats. *Glo. Cha. Biol.*, **15**: 2153–2162.
- Saito, S. and S. Atobe, 1970. *Phytosociological study of intertidal marine*

- algae. I. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., **21**: 37–67.
- Segawa, S., 1956. Coloured illustration of the seaweeds of Japan. Hoikusha Publ. Co. Osaka.
- Sohn, C.H., 1987. Phytogeographical characterization and quantitative analysis of algal communities in Korea. Ph.D. Thesis, Chonnam National University, Korea.
- Sohn, C.H., C.G. Choi and H.G. Kim, 2007. Algal communities and useful seaweed distribution at Gangnung and its vicinity in east coast of Korea. *Algae*, **22**: 45–52.
- Thompson, R.E., B.J. Wilson, M.L. Tobin, A.S. Hill, and S.J. Hawkins, 1996. Biologically generated habitat provision and diversity of rocky shore organisms at a hierarchy of spatial scales. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **202**: 73–84.
- Wells, E., M. Wilkionson, P. Wood, and C. Scanlan, 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.
- Yoshida, T., 1998. Marine algae of Japan. Uchida Rokakuho Publ. Tokyo. 1222pp.

2014년 7월 15일 원고접수

2014년 8월 19일 수정본 접수

2014년 8월 20일 수정본 채택

담당편집위원: 신현출