

새만금 방조제 외측 고군산군도 지역의 해조상 및 군집구조¹

김주희² · 고용덕³ · 김영식^{4*} · 남기완⁵

Marine Algal Flora and Community Structure of Gogunsan Islands outside the Saemangeum Dike¹

Ju Hee Kim², Yong Deok Ko³, Young Sik Kim^{4*}, Ki Wan Nam⁵

요 약

고군산군도의 해조상 및 군집구조를 파악하기 위해 7개 정점을 선정하여 2008년 12월부터 2009년 11월까지 계절별 조사를 실시하였다. 고군산군도에서 출현한 해조류는 총 58종으로, 녹조식물 10종, 갈조식물 16종, 홍조식물 32종이 채집 동정되었으며, 그 중 11종은 연중 출현하였다. 평균 생물량은 Sinsido 1 정점에서 213.8 g m⁻², Sinsido 2 정점에서 143.1 g m⁻², Sinsido 3 정점에서 133.3 g m⁻², Munyeodo 정점에서 164.0 g m⁻², Seonyudo 정점에서 116.9 g m⁻², Jangjado 정점에서 145.1 g m⁻²으로 Sinsido 1 정점에서 가장 높은 생물량을 보였으며, Sinsido 4 정점에서 최저 생물량을 나타냈다. 생물량에서 우점종은 지층이(*Sargassum thunbergii*), 구멍갈파래(*Ulva pertusa*), 툃(*Sargassum fusiforme*) 및 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*)이었으며, 지층이는 전 계절에 걸쳐 가장 높은 생물량을 보여 이 지역 대표종으로 확인되었다. 이 지역의 6개 기능형군은 성긴분기형(46.6%), 사상형(27.6%), 엽상형(17.2%), 다육질형(3.4%), 유절산호말형(3.4%), 각상형(1.7%)군으로 구분되었다. 해조류의 지역적 특성의 기준으로 이용되는 C/P, R/P 그리고 (R+C)/P값은 각각 0.33~0.75, 1.11~2.50, 1.47~3.25이었다. 종다양도지수(H')와 우점도지수(DI)로 본 고군산군도의 해조군집 안정도는 '불안정'하고 환경상태는 '나쁜것'으로 나타났다. MDS와 군집분석 결과, Sinsido 2, Sinsido 3, Seonyudo, Munyeodo로 이루어진 그룹, Sinsido 1, Jangjado로 이루어진 그룹, 그리고 Sinsido 4로 이루어진 총 3개의 군집으로 분류되었으며, 암반이 적어 해조류가 빈약하였던 Sinsido 4는 다른 정점과 유사도에서 차이를 나타냈다.

주요어: 해조, 생물량, 우점종, 군집분석, MDS 분석

ABSTRACT

It is selected seven sites for marine algal flora and community structure and investigated seasonally from December 2008 to November 2009 in Gogunsan Islands, the west coast of Korea. A total of 58 species including 10 green, 16 brown and 32 red algae were collected and identified. Among these species, 11 species were found throughout the year. Annual mean biomass in dry weight were 213.8 g m⁻² at Sinsido 1, 143.1 g m⁻² at Sinsido 2, 133.3 g m⁻² at Sinsido 3, 164.0 g m⁻² at Munyeodo, 116.9 g m⁻² at Seonyudo, and 145.1 g m⁻² at Jangjado. Maximum biomass was recorded in Sinsido 1, and minimum mean biomass was Sinsido 4. The dominant

1 접수 2011년 3월 3일, 수정(1차: 2011년 4월 28일), 게재확정 2011년 4월 29일

Received 3 March 2011; Revised(1st: 28 April 2011); Accepted 29 April 2011

2 군산대학교 해양생물공학과 Dept. of Marine biotechnology, Kunsan Nat'l Univ., Kunsan(573-701), Korea(kjh-312-2@hanmail.net)

3 군산대학교 해양생물공학과 Dept. of Marine biotechnology, Kunsan Nat'l Univ., Kunsan(573-701), Korea(kosdive@hanmail.net)

4 군산대학교 해양생물공학과 Dept. of Marine biotechnology, Kunsan Nat'l Univ., Kunsan(573-701), Korea(kimys@kunsan.ac.kr)

5 부경대학교 자원생물학과 Dept. of Marine biology, Pukyong Nat'l Univ., Busan(608-737), Korea(kwnam@pknu.ac.kr)

* 교신저자 Corresponding author(kimys@kunsan.ac.kr)

species based on biomass were *Sargassum thunbergii*, *Ulva pertusa*, *Sargassum fusiforme* and *Corallina pilulifera*. *S. thunbergii* was the representative alga occurred at all seasons. The flora investigated could be classified into six functional groups such as coarsely branched form (46.6%), filamentous form (27.6%), sheet form (17.2%), thick leathery form (3.4%), jointed calcareous form (3.4%) and crustose form (1.7%). The R/P, C/P and (R+C)/P value reflecting flora characteristics were 0.33 ~ 0.75, 1.11 ~ 2.50, 1.47 ~ 3.25, respectively. Diversity index (H') and dominance index (DI) indicated that stability of seaweed community of Gogunsan Islands was unstable and environmental conditions were bad. According to multidimensional scaling (MDS) and cluster analysis, Gogunsan Islands were divided into three distinct groups. The first group was Sinsido 2, Sinsido 3, Seonyudo and Muyeodo and the second group comprised Sinsido 1 and Jangjado and the other was Sinsido 4 due to meaningful difference in similarity.

KEY WORDS: SEAWEED, BIOMASS, DOMINANT SPECIES, CLUSTER ANALYSIS, MDS (MULTIDIMENSIONAL SCALING)

서론

새만금 방조제 축조공사가 1991년에 시작되어 물막이 공사가 2010년 완료된 이후 기존에 만경강과 동진강으로부터 흐르던 영양염류 및 담수의 영향이 차단됨으로서 환경요소 일부는 변화되었으며, 신시도와 가력도에 위치한 배수갑문에 의해 해수가 유통됨으로 새만금 방조제 내부를 비롯한 외측의 방조제 주변 해역 생물상에 변화가 있을 것으로 예상된다(SERC, 2003; KRCC, 2006; MFAFF and KRCC, 2008).

많은 해양생물 중에서 연안에 서식하는 해조류는 기질에 부착한 이후 사멸하기 전까지 한 곳에 서식하는 고착 생물 이기에 주변의 다양한 환경요소에 그대로 노출되어 살아가므로 흔히 오염된 조건에서 생물지표(bioindicators)로 이용되기도 한다(Levine, 1984; Haglund *et al.*, 1996). 따라서 연안에 서식하는 해조류 분포와 군집구조 분석은 연안 생태계의 다양성과 생산성을 평가하는 중요한 기준으로 활용될 수 있으며, 해양 환경의 보전과 지속 가능한 이용을 위해 꼭 필요하다.

일반적으로 빛, 수온 및 영양염은 해조류의 성장생리에 주요한 제한요인으로 인식되고 있고(Lobban and Harrison, 1994), 이것에 대한 해조류의 생리적 적응의 정도가 개체의 생육, 나아가서는 개체군 유지에 위한 생식 및 수직, 수평 분포의 결정인자 중의 하나로 해석되므로 다양한 환경요인별 정보를 축적하여 해조류 군집과의 관계를 파악하는 일은 매우 중요하다(Kim, 1997). Saito and Atobe(1970), Saito *et al.*(1971), Atobe and Saito(1974), Kapraun(1980) 및 Brattström(1980) 등은 식물사회학적 특성 및 해황의 차이에 따른 해조류 분포를 논의 하였으며, Wildowson(1965)과

Druehl(1966)는 환경요인과 해조 분포와의 관계를 밝히려 하였다. 국내에서 Koh(1983)는 동해안 죽도에서 해조류 군집과 환경과의 관계를 분석하였으며, Koh and Lee(1982)는 서해안 환경요인 가운데 탁도에 의하여 해조류의 분포가 영향을 받는다고 논한 바 있다.

현재까지 고군산군도의 해조류 생태 및 분포에 관한 연구는 Kang *et al.*(1980), Lee(1983), MAFF and JB(1994) 및 Kim and Lee(2001)가 전부이며, 그것도 주로 하계 조사만 이루어져 피도 및 생물량 등의 정량적인 해조군집 특성을 파악하기에는 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 새만금 방조제 건설에 따라 변화가 예상되는 이 지역 해조류의 생물량, 수직분포, 종 다양성 분석 및 군집분석 등 정량적인 연구에 주안점을 두어 이 지역 해조군집의 특성을 보다 명백히 하고, 추후 시간적 경과에 따른 해조상 변화를 확인하며, 잠재적 유용 해조자원의 효율적인 이용 및 보존, 관리를 위한 기초 자료로 활용하고자 시도되었다.

재료 및 방법

1. 채집방법

고군산군도 조간대 7개 정점을 선정하여 2008년 12월부터 2009년 11월까지 계절별로 채집하였다(Figure 1). 해조류 군집조사는 조간대 상부에서 하부까지 설치한 Transect line을 따라 10cm×10cm의 소방형구 25개로 나누어진 50 × 50 cm의 방형구를 연속적으로 옮겨 놓아가며 출현종의 피도를 조사하였다(Saito and Atobe, 1970). 생물량 조사를 위해 방형구내에 출현하는 모든 해조류를 전량 채취하여

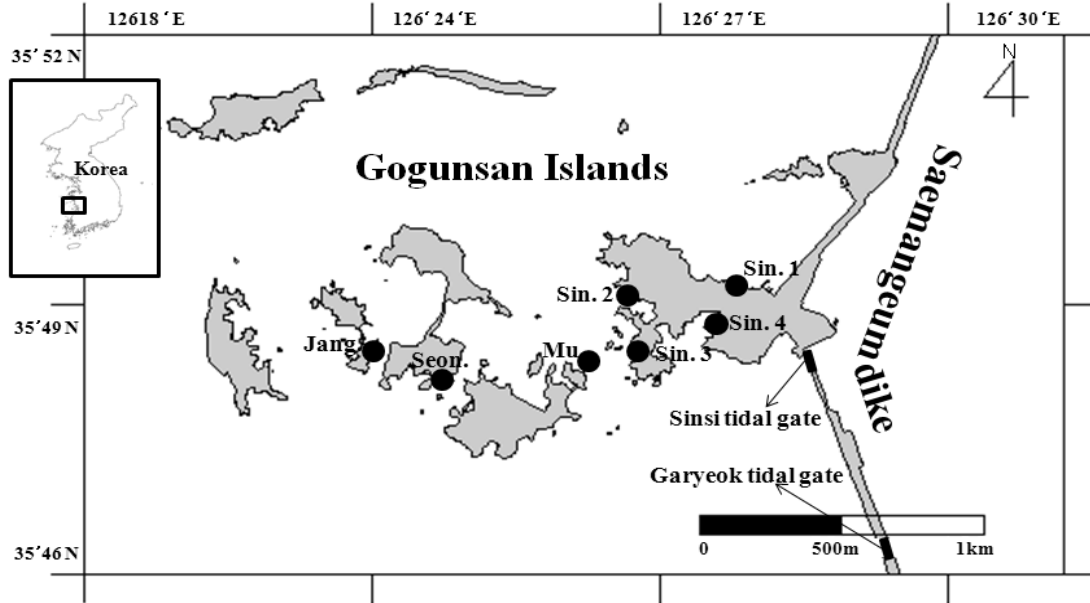


Figure 1. Map of the sampling station in the west coast of Gogunsan Islands, Korea. Sin 1, Sinsido 1; Sin 2, Sinsido 2; Sin 3, Sinsido 3; Sin 4, Sinsido 4; Mu, Munyeodo; Seon, Seonyudo; Jang, Jangiado

현장에서 5-10% 포르말린-해수로 고정하여 실험실로 운반하였다. 운반된 재료들은 담수로 충분히 씻어 모래, 암석 등 이물질을 제거한 다음 은박지 봉투에 넣어 105℃에서 48시간 동안 완전히 건조시킨 후 전자저울을 이용하여 건중량을 측정하고, 이를 단위 면적당(m²) 생물량으로 환산하였다(Lee *et al.*, 1997).

해조상의 특징을 해석하는 지표로 C/P값(Segawa, 1956), R/P값(Feldmann, 1937) 및 (R+C)/P값(Cheney, 1977)을 이용하였으며, 해조류의 생활형에 따른 기능형군 분석에는 출현종의 형태 및 내부구조에 따라 엽상형(sheet form), 사상형(filamentous form), 성긴분기형(coarsely branched form), 다육질형(thick leathery form), 유절산호말형(jointed calcareous form), 각상형(crustose form)의 6개 기능군으로 나누어 분석하였다(Littler and Littler, 1984).

군집 안정도 및 환경상태의 평가를 위하여 우점도 지수(Dominance index, DI)와 Shannon's 다양도 지수(Diversity index, H')를 구하였다(Simpson, 1949; Shannon and Weaver, 1963). 정점간 해조류의 분포적 특성을 파악하기 위하여 생물량 자료를 바탕으로 Bray-Curtis 유이도를 산출했고, PRIMER version 6을 이용해 Cluster 분석과 MDS(multidimensional scaling)분석을 수행하였다(Clarke and Warwick, 2001). 수온 및 염분 자료는 KHOA(2011)의 자료를 활용하였다.

2. 조사지 개황

고군산군도는 여름철에는 쿠로시오 해류(Kuroshio current)의 분지인 황해난류의 영향을 받으며, 겨울철에는 강한 북서풍에 의하여 수온이 낮고 탁도가 높은 연안류의 영향을 받는다. 대륙계절성 기후의 영향을 직접적으로 받으며, 대조차는 평균 6.0m이고, 조석의 양상은 반일주조가 우세한 혼합조로서 1일 2회의 고조와 저조를 나타낸다(RKHOA, 1989, 1995; Lee, 1992). 고군산군도의 2008년 12월부터 2009년 11월까지 연평균 수온은 14.4℃였으며, 여름철(8월)에 평균 24.8℃로 최고값을 보였고, 1월에 평균 3.3℃로 최저값을 나타냈다. 염분도는 연안수의 유입으로 동해와 남해의 35psu보다 다소 낮은 26.6psu를 나타냈다(Figure 2).

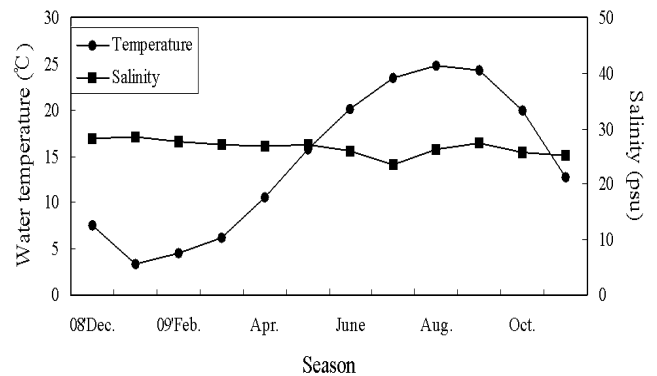


Figure 2. Monthly variation of water temperature (°C) and salinity (psu) in Gogunsan Islands, the west coast of Korea (Data from KHOA)

결 과

1. 종 조성

고군산군도 7개 정점에서 출현한 해조류는 Sinsido 1 정점(신시도 북측)에서 42종, Sinsido 2 정점(신시도 북서측)에서 32종, Sinsido 3 정점(신시도 서측)에서 27종, Sinsido 4 정점(신시도 남측)에서 4종, Munyeodo (무녀도) 정점에서 31종, Seonyudo (선유도) 정점에서 28종, Jangjado (장자도) 정점에서 32종이 출현하여 Sinsido 1 정점에서 풍부한 종 조성을 보였고, Sinsido 4 정점에서 가장 저조하게 나타났다(Figure 3).

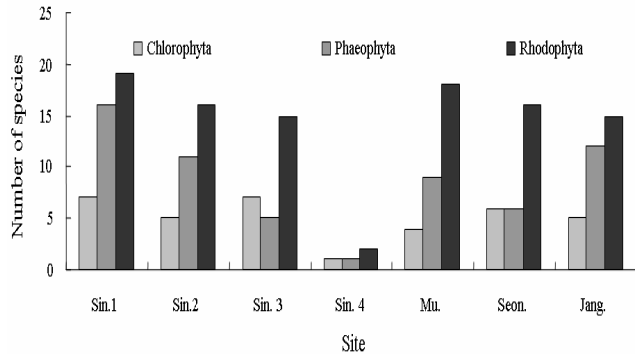


Figure 3. The number of marine algal species among divisions investigated at Gogunsan Islands, the west coast of Korea

분류군별로는 녹조식물 10종(17.2%), 갈조식물 16종(27.6%), 홍조식물 32종(55.2%)으로 총 58종이 출현하였으며, 홍조식물의 비율이 가장 높았다. 계절별로는 겨울철(12월)과 봄철(3월)에 각각 41종, 여름철(6월)에 36종, 가을철(11월)에 22종이 출현하여 봄철과 겨울철에 가장 풍부하였다.

고군산군도에서 연중 출현한 종으로는 녹조식물의 구멍갈파래(*Ulva pertusa* Kjellman)와 청각(*Codium fragile* (Suringar) Hariot), 갈조식물의 민자루갯쇠털(*Sphacelaria rigidula* Kützinger), 패(*Ishige okamurae* Yendo), 툫(*Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell), 지층이(*Sargassum thunbergii* (Mertens ex Roth) Kuntze), 홍조식물의 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera* Postels et Ruprecht), 우뭇가사리(*Gelidium amansii* (Lamouroux) Lamouroux), 애기우뭇가사리(*Gelidium divaricatum* Martens), 진두발(*Chondrus ocellatus* Holmes), 개서실(*Chondria crassicaulis* Harvey) 등 모두 11종이었다. 홉파래(*Monostroma nitidum* Wittrock)와 납작파래(*Ulva compressa* (Linnaeus) Nees)는 주로 여름철에 나타났고, 애기염주말(*Chaetomorpha aerea* (Dillwyn) Kützinger)은 겨울철에, 초록영킨실(*Derbesia marina* (Lyngbye) Solier)은 겨울과 가을철에만 출현하였으며, 대마디말류(*Cladophora* sp.)는 여름철을 제외한 모든 계절에 출현하였다. 이들 중 모든 조사정점에서 연중 출현한 종으로는 구멍갈파래와 애기우뭇가사리 2종으로 확인되었다.

해조류의 지역적 특성의 기준으로 이용되는 C/P, R/P 그리고 (R+C)/P의 값을 비교하기 위하여 총 출현종수를 식물

Table 1. The comparison of R/P, C/P and (R+C)/P values and number of species at several sites of Gogunsan Islands, west coast of Korea

Site	C/P	R/P	(R+C)/P	Number of species	References
Sinsido 1	0.52	1.46	1.97	42	This study
Sinsido 2	0.33	1.26	1.58	32	
Sinsido 3	0.75	2.50	3.25	27	
Munyeodo	0.65	2.37	3.02	31	
Seonyudo	0.72	2.08	2.80	28	
Jangjado	0.36	1.11	1.47	32	
Sinsido	0.63	3.25	3.88	39	
Munyeodo	0.38	1.23	1.62	34	
Jangjado	0.25	0.88	1.13	17	
Jangjado	0.20	1.33	1.92	35	Lee (1983)
Munyeodo	0.31	1.38	1.69	36	MAFF and JB (1994)
Sinsido	0.60	2.60	3.20	22	
Seonyudo	0.50	1.70	2.20	34	
Jangjado	0.36	1.55	2.00	37	

R, Rhodophyta; P, Phaeophyta; C, Chlorophyta

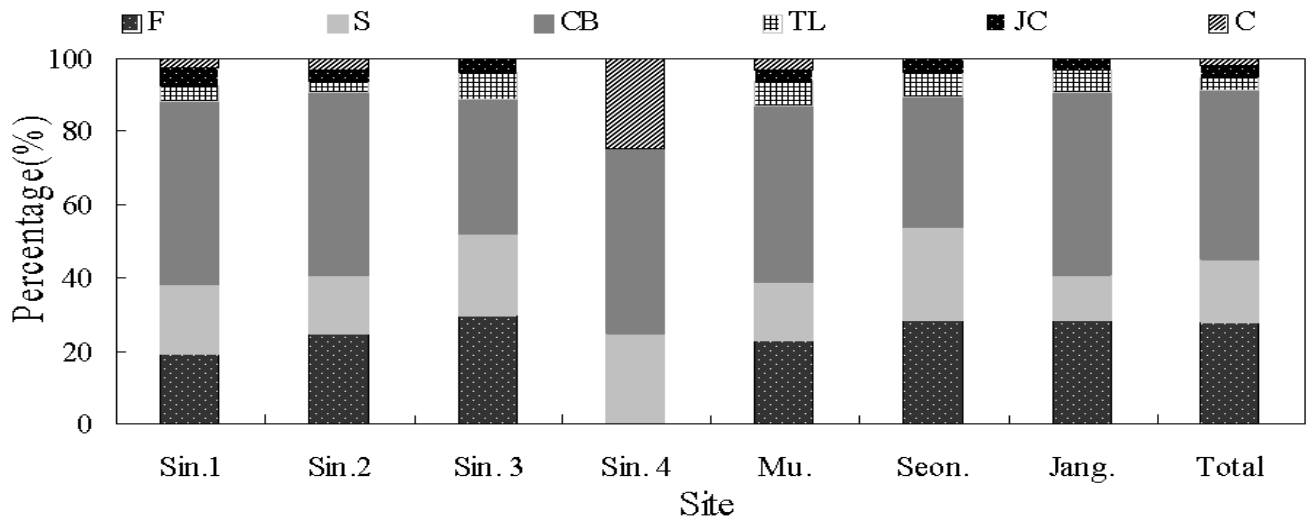


Figure 4. Percentage of seaweed functional forms at seven sites collected in Gogunsan Islands, the west coast of Korea. F, filamentous; S, sheet; CB, coarsely branched; TL, thick leathery; JC, jointed calcareous; C, crustose

군별로 분석하였는데, C/P값은 Sinsido 2 정점에서 0.33으로 최소값을, Sinsido 3 정점에서 0.75로 최대값을 보였으며, R/P값은 Jangjado 정점에서 1.11로 최소값을, Sinsido 3 정점에서 2.50으로 최대값을 나타내었다. (R+C)/P값은 R/P값과 동일하게 Jangjado 정점에서 1.47로 최소값을, Sinsido 3 정점에서 3.25로 최대값을 나타냈다(Table 1).

고군산군도에 출현한 해조류의 기능형군 분석에 의하면 성긴분기형 27종(46.6%), 사상형 16종(27.6%), 엽상형 10종(17.2%), 다육질형 2종(3.4%), 유절산호말형 2종(3.4%), 각상형 1종(1.7%)의 순서를 나타냈다. 성긴분기형은 4계절 모두 높은 비율을 보였으며, Sinsido 1 정점과 Sinsido 2 정점, Sinsido 4 정점, Jangjado 정점에서 50% 이상의 높은 비율을 나타냈다. 사상형은 겨울철에 높게 나타났으며, Sinsido 3 정점에서 30% 이상의 높은 비율을 나타냈다. 엽상형은 봄철에 대체로 높게 나타났으며, Sinsido 4 정점, Seonyudo 정점에서 25% 이상의 비율을 나타냈다. 다육질형은 봄과 여름철에 높았으며, 모든 지역에서 10% 이하의 낮은 비율을 나타냈다. 유절산호말형은 겨울철에 높은 비율을 나타냈으나, 다육질형과 함께 모든 지역에서 낮은 비율을 나타냈다. 각상형은 Sinsido 4 정점에서만 25% 이상 높은 비율을 보였고, 다른 지역에서는 5% 이하의 낮은 비율을 보이는 것으로 나타났다(Figure 4).

2. 생물량과 주요종의 수직분포

생물량(biomass) 자료는 해조류 생물량이 너무 적어서

정량조사가 불가능한 Sinsido 4 정점을 제외한 6개 지역에서 실시하였다. Sinsido 1 정점에서 평균 생물량은 213.8 g m^{-2} , Sinsido 2 정점에서 평균 143.1 g m^{-2} , Sinsido 3 정점에서 133.3 g m^{-2} , Munyeodo 정점에서 164.0 g m^{-2} , Seonyudo 정점에서 116.9 g m^{-2} , Jandjado 정점에서 145.1 g m^{-2} 로 나타나 Sinsido 1 정점에서 가장 높은 생물량을 나타냈다. 계절별로는 $152.86 \sim 172 \text{ g m}^{-2}$ 로, 봄철에 최대값을 나타냈고, 여름철에 최소값을 나타냈다(Table 2). 계절별 주요 종의 생물량으로 지충이는 거의 모든 계절에 걸쳐 가장 높은 생물량으로 출현하였으며, 그 다음으로 구멍갈파래, 툇, 작은구슬산호말 순으로 나타났다(Figure 5). 특히 지충이는 여름철에 88.62 g m^{-2} 로 가장 높은 생물량을 보였고, 조간대 중부에서 하부까지 피도 25% 이상으로 우점하였다. 구멍갈파래는 봄철 상부에서 중부까지 26.2 g m^{-2} 의 생물량을 보이며, 피도 10% 이상으로 출현하였다. 툇은 지충이와 같이 여름철 중부와 하부에서 18.1 g m^{-2} 의 높은 생물량을 나타냈으며, 피도 10% 이상으로 나타났다. 작은구슬산호말은 가을철에 15.2 g m^{-2} 의 높은 생물량을 보였으며, 조간대 하부지역에서 피도 10% 이상으로 출현하였다. 그 외에 부챗살(*Ahnfeltiopsis flabelliformis* (Harvey) Masuda)은 가을철 조수웅덩이를 포함한 중-하부지역에서 생물량 11.2 g m^{-2} , 피도 5% 이상으로 출현하였으며, 우뚝가사리(*Gelidium amansii* (Lamouroux) Lamouroux)는 여름철 하부지역에서 생물량 7.2 g m^{-2} , 피도 5% 이상으로 출현하였고, 붉은실류(*Polysiphonia* sp.)는 봄철 하부지역에서 생물량 10.9 g m^{-2} , 피도 5% 이상으로 출현하였다.

Table 2. Seasonal biomass(g dry wt. m⁻²) of the major algal species

Species	Sinsido 1			Sinsido 2			Sinsido 3			Munyeodo			Seonyudo			Jangjado											
	Wi.	Su.	Au.	Wi.	Su.	Au.	Wi.	Su.	Au.	Wi.	Su.	Au.	Wi.	Su.	Au.	Wi.	Su.	Au.									
<i>Monostroma nitidum</i> Wittrock																											
<i>Ulva compressa</i> (Linnaeus) Nees																											
<i>Ulva linza</i> (Linnaeus) J. Agardh																											
<i>Ulva pertusa</i> Kjellman	7.7	13.9	19.2	6.4	10.8	38.0	12.3	16.6	22.1	41.4	6.5	9.8	13.4	51.3	17.1	10.1	12.2	23.9	7.9	5.3	0.5	8.2	25.3				
<i>Codium fragile</i> (Suringar) Hariot				13.8				5.4				+	22.3	3.0	4.9								4.3				
<i>Ralfsia verrucosa</i> (Areschoug) Areschoug in Fries				+				1.8				+			4.1								+				
<i>Ishige okamurae</i> Yendo	2.8	7.9	+	+				+				+										+	15.3	8.2			
<i>Ishige sinicola</i> (Setchell et Gardner) Chihara				8.3			4.3																4.9	5.6	1.0		
<i>Leathesia difformis</i> (Linnaeus) Areschoug				1.4																							
<i>Scytosiphon lomentaria</i> (Lyngbye) Link				0.1																							
<i>Myelophycus simplex</i> (Harvey) Papenfuss																											
<i>Colpomenia sinuosa</i> (Mertens ex Roth) Derbes et Solier in Castagne																											
<i>Undaria pinnatifida</i> (Harvey) Suringar																											
<i>Sargassum fusiforme</i> (Harvey) Setchell	104.2	107.4	56.0	26.4			35.6	+				+													0.6		
<i>Sargassum confusum</i> C. Agardh				+				23.6				+														17.0	
<i>Sargassum thunbergii</i> (Mertens ex Roth) Kunze	51.9	48.9	115.8	30.2	77.0	102.8	64.1	61.7	76.3	74.0	73.0	47.6	135.2	72.9	50.1	71.5	86.9	94.2	40.0	43.7	60.0	41.0	90.2	21.1	+		
<i>Sargassum</i> sp.				0.9				+				+														5.2	
<i>Corallina pilulifera</i> Postels et Ruprecht	53.0	9.9	33.3				2.8					5.2	13.7	25.2		0.8	3.5			12.3	20.5	29.9	1.5	37.1			
<i>Dumontia simplex</i> Cotton																										1.3	
<i>Glotopeltis furcata</i> (Postels et Ruprecht) J. Agardh																										4.4	
<i>Gelidium amansii</i> (Lamouroux) Lamouroux	3.2			21.9			+					+	11.4	43.4												+	
<i>Gelidium divaricatum</i> Martens				+				7.1				6.4				2.2				7.8						+	
<i>Caulacanthus ustulatus</i> (Mertens ex Turner)				+				+				+				4.4										+	
<i>Chondrus ocellatus</i> Holmes				1.6				10.4				+														+	
<i>Anfjelitopsis flabelliformis</i> (Harvey) Masuda	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	5.9	3.3	0.4	37.9	4.3	0.4	37.9	4.3	4.5	5.8	3.1	10.8								8.0	
<i>Grateloupia prolongata</i> J. Agardh																											+
<i>Gracilaria vermiculophylla</i> (Ohmi) Papenfuss																											18.0
<i>Gracilaria textorii</i> (Suringar) Hariot	0.3			1.8			+					+	1.1														0.7
<i>Ceramium kondoi</i> Yendo																											+
<i>Chondria erassicaulis</i> Harvey				1.4			+					0.3				1.0											11.2
<i>Chondrophycus intermedia</i> (Yamada) Garbary et Harper				3.9			+					+															+
<i>Polysiphonia</i> sp.				5.9	9.7		0.7	1.1	1.1	41.0	5.9																4.3
<i>Symphocladia latiuscula</i> (Harvey) Yamada				1.0			+					+															1.7
Others	15.7	14.1	2.9	51.7	29.9	26.1	10.5	16.9	25.4	8.8	10.6	25.0	19.9	30.2	7.9	24.7	12.1	24.2	2.0	20.0	10.0	16.5	12.5	54.9		+	
Total	239.3	216.2	205.3	194.5	128.7	167.7	123.7	152.3	128.2	167.1	105.5	132.2	216.9	194.5	109.1	135.3	114.9	152.5	97.9	102.5	103.2	133.8	166.6	176.7			

13.7

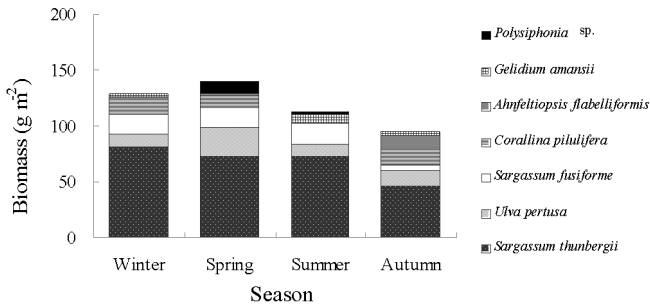


Figure 5. Seasonal variation of seaweed biomass(g dry wt. m⁻²) of dominant species at Gogunsan Islands, the west coast of Korea

3. 군집지수 및 집괴분석

해조류의 생물량을 이용하여 산출한 다양도지수(H')는

겨울철에는 0.58~1.27의 범위를 나타냈고, 봄철에는 0.66~1.56, 여름철에는 1.00~1.64, 가을에는 1.52~2.12의 범위로 나타났다(Table 3). 평균값으로는 겨울철에 0.91로 최소값을, 가을철에 1.76으로 최대값을 나타냈다. 반면에 우점도 지수(DI)는 겨울철에는 0.28~0.58, 봄철에는 0.18~0.42, 여름철에는 0.25~0.50, 가을철에는 0.09~0.22의 범위를 나타냈으며, 평균값으로는 가을철에 0.19로 최소값을, 겨울철에 0.40으로 최대값을 나타냈다.

각 정점별 집괴분석(cluster analysis)과 MDS (multeridimensional scaling) 분석 결과, 유사도 60% 수준에서 크게 3개의 그룹으로 구분되었다(Figure 6). Group 1은 Sinsido 2 정점, Sinsido 3 정점 Munyeodo 정점, Seonyudo 정점이 함께 묶였으며, Group 2는 Sinsido 1 정점과 Jangjado 정점이었고, 나머지는 Sinsido 4 정점으로 두 그룹과는 완전하게 분리되었다.

Table 3. Seasonal community indices at several sites of Gogunsan Islands, the west coast of Korea

Site	Spring		Summer		Autumn		Winter		Reference
	H'	DI	H'	DI	H'	DI	H'	DI	
Sinsido 1	1.35	0.30	1.15	0.40	2.01	0.09	1.27	0.28	This study
Sinsido 2	0.66	0.42	1.18	0.36	1.84	0.21	0.78	0.37	
Sinsido 3	1.11	0.31	1.00	0.50	1.52	0.22	0.75	0.38	
Munyeodo	1.28	0.23	1.16	0.37	1.53	0.30	1.06	0.41	
Seonyudo	0.97	0.39	1.64	0.25	1.57	0.21	0.58	0.58	
Jangjado	1.56	0.18	1.52	0.33	2.12	0.12	1.02	0.38	
Mean	1.16	0.30	1.27	0.37	1.76	0.19	0.91	0.40	
Tean	1.96	0.60	1.43	0.81	1.90	0.57	1.80	0.62	Lee et al. (2007)

H', Diversity index; DI, Dominance index

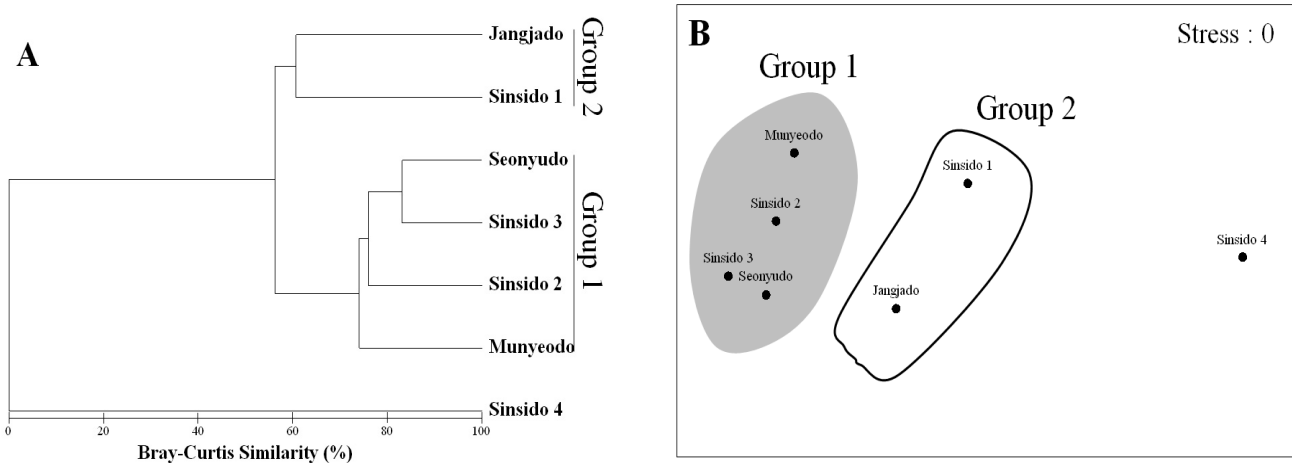


Figure 6. Joint plots of species association analyses obtained by cluster (A) non-metric multidimensional scaling (MDS) ordination (B) analyses, using a data set of the biomass during the study period at Gogunsan Islands, Korea

고 찰

본 조사지역인 고군산군도 7개 정점에서 채집 동정된 해조류는 총 58종으로, 녹조식물 10종, 갈조식물 16종, 홍조식물 32종으로 나타났는데, 이는 서해안 다른 지역에서의 출현종수 즉, 태안반도 파도리의 94종(Lee and Chang, 1989), 50종(Lee et al., 2000), 서해 경기만 82종(Lee et al., 1997a), 태안반도 의항 78종(Oh and Lee, 1998), 태안반도 꽃지 80종(Lee et al., 2007)보다 현저하게 낮게 나타났다. 또한, 동일한 지역의 다른 정점에서 조사한 Kang et al.(1980)의 81종과 Kim and Lee(2001)의 77종과 비교해 보면 본 연구가 조간대 조사임을 감안하여도 해조류의 출현종수가 적었다.

본 조사지역에서 연중 출현하는 해조류는 녹조식물 1종, 갈조식물 2종 및 홍조식물 6종으로 총 11종이었다. Lee et al.(1997b)에 의하면 구멍갈파래와 민자루갯쇠털(*Sphacelaria rigidula* Kützinger)은 일년에 수 세대를 거듭하고 생장이 빠른 종이며, 부챗살은 특히 서해안의 척박한 환경에서도 생육할 수 있는 종이기 때문에 본 지역에서도 연중 출현한 것으로 보인다. 그밖에 진두발(*Chondrus ocellatus* Holmes), 지충이, 우뭇가사리, 작은구슬산호말은 다년생 종이기 때문에 연중 비교적 높은 피도와 생물량으로 출현하는 것으로 생각된다.

본 연구결과 고군산군도 해조류 군집의 생물량에서 우점종은 지충이, 툫, 구멍갈파래, 작은구슬산호말로 확인되었다. Kang et al.(1980)에 의하면 이 지역에서 우세하게 군락을 형성 하였던 종은 뜰부기(*Silvetia siliquosa* (Tseng et Chang) Serrao et al.), 지충이, 불등풀가사리(*Gloiopeltis furcata* (Postels et Ruprecht) J. Agardh)였고, 툫의 군락은 전혀 볼 수 없었다고 한다. 그러나 본 연구에서 불등풀가사리는 단지 Jangjado 정점에서만 우점하였으며, 툫은 Sinsido 1 정점에서 우점하는 종으로 나타나 Kang et al.(1980)의 연구와 차이를 나타냈다. 또한 지충이는 본 조사해역에서 최우점종으로 나타났는데, 이 종은 기존의 연구에서도 우점종으로 출현한 바 있으며, 서해안에서 수행된 많은 해조군집 조사에서도 조간대 우점종으로 보고되어 있는 종으로서 여전히 서해안을 대표하는 종으로 볼 수 있다(Kim, 1994; Kim et al., 1995). 그러나 이번 조사결과, 뜰부기는 단지 몇 개체만이 발견되었다. 1980년대에 우점종이었던 뜰부기가 아주 드물게 관찰되었던 것은 이미 2000년의 조사에서도 확인된 바 있다(Kim and Lee, 2001). 이처럼 시간의 경과에 따른 뜰부기 종의 감소는 이 지역 환경요인의 변화를 시사한다. 갈조식물 뜰부기는 건조에 오랫동안 견딜 수 있으나, 수온에 민감하여 생식기간인 여름에는 수온이 25℃를 넘지 않아야 하고 겨울에는 해수가 얼지 않는

1~2℃ 이상이 되는 지역에서만 생육이 가능하다고 알려져 있다(Tseng 1994; Song et al., 1996; Lee et al., 1997b). 본 연구지역은 여름철 평균 수온이 25℃에 육박하여(Figure 2), 때로는 생육 임계 수온인 25℃이상을 상회할 가능성이 매우 높는데, 이점 역시 뜰부기의 감소와 상관관계가 있을 것으로 예상된다. 최근 많은 연구에서 해수온 상승(Choi, 2007) 및 지구 온난화(Russel et al., 2009) 등에 의하여 연안에 서식하는 해양 생물들의 종 조성 및 종 다양성, 생물량이 감소하는 것으로 보고되고 있다(Choi and Rho, 2010). 이러한 전 지구적인 환경변화와 함께 새만금방조제 건설과 같은 국지적인 공사 역시 인근 지역의 해양생태계에 직·간접적으로 영향을 주었을 것으로 생각된다.

본 연구 지역의 기능형군별 구성비는 성긴분기형-사상형-엽상형-다육질형-유절산호말형-각상형의 순서를 보였는데, 이는 동해안(Choi, 2008)과 남서해안(Park et al., 2007)에서의 구성비 순과 동일하였다. 일반적으로 성긴분기형, 사상형, 엽상형 해조류는 환경적인 스트레스가 심한 교란 또는 오염이 심한 지역에서 높은 비율로 나타난다고 알려져 있는데 (Orfandis et al., 2001; Lee et al., 2007), 본 연구 지역의 결과 역시 담수나 과도한 영양염류의 유입과 같은 환경적인 스트레스와 상관관계가 있을 가능성이 높다.

해조류의 지역적 특성의 기준으로 이용되는 C/P, R/P 그리고 (R+C)/P의 값 중 해조상 비교에 많이 사용되는 것은 Cheney(1977)가 제안한 (R+C)/P값인데, 그 값이 3보다 작을 때는 온대성 내지 한대성의 해조상을, 6 이상이면 열대성의 해조상을 그리고 그 중간 값이면 혼합성 해조상의 특징을 보인다고 하였다. 본 연구에서는 각 지점에 따라 1.47~3.25의 값을 보였는데, Sinsido 1 정점, Sinsido 2 정점, Seonyudo 정점, Jangjado 정점에서는 온대성 내지 한대성 해조상을, Sinsido 3 정점과 Munyeodo 정점에서는 혼합성 해조상을 나타냈다. 그러나 앞서의 연구와 비교해 보면, Kang et al.(1980)은 1.13~3.88, Lee(1983)는 1.92, MAFF and JB(1994)는 1.69~3.20으로 보고한 바 있어 (R+C)/P의 값의 경우 큰 변화는 없는 것으로 사료된다(Table 2).

또한 최근 종 다양도 지수(H')를 이용한 군집 안정도 및 환경상태의 평가 방법이 여러 연구자들에 의해 활용되고 있는데(Park et al., 2006; Lee et al., 2007; Kang et al., 2008; Choi and Rho, 2010), 종 다양도 지수가 2.0~3.0의 경우 군집안정도는 불안정하고 환경상태는 다소 양호한 것으로 평가하였으며, 1~2인 경우 군집안정도가 불안정하고 환경상태도 나쁜 것으로 평가한 바 있다. 이 지역의 종 다양도 지수는 0.91~1.76의 값으로 산출되어 고군산군도의 군집안정도는 '불안정(unstable)'하고 환경상태는 '나쁜(bad)' 것으로 평가된다(Park et al., 2006). 이는 인근의 태안반도의 지수와 비교할 때 다소 낮았다(Table 3).

이 지역 해조류에 대한 집괴분석 결과, Sinsido 2 정점(신시도 북서측), Sinsido 3 정점(신시도 서측), Munyeodo 정점(무녀도), Seonyudo 정점(선유도)가 함께 묶이는 Group 1은 지층이와 구멍갈파래가 높은 비율로 우점하고 있는 지역이었으며, Sinsido 1 정점(신시도 북측)과 Jangjado 정점(장자도)가 묶이는 Group 2는 작은구슬산호말이 높은 비율로 우점하고 있었고, Sinsido 4 정점(신시도 남측)는 해조식생이 빈약하여 다른 그룹과 전혀 유사도를 보이지 않아 따로 분리되었다. 이러한 결과는 각 정점 간의 기질 종류 및 파도의 노출 정도 등 생육환경의 차이가 이 지역 해조류를 3개 그룹으로 묶는데 커다란 역할을 한 것으로 추정된다.

새만금 방조제는 만경 유역 쪽에 신시 배수갑문(갑문폭 300m)과 동진 유역 쪽에 가력 배수갑문(갑문폭 240m)이 위치하여 있으며(Figure 1), 배수갑문을 통해 외해 측으로 방류되는 방류수의 수질은 외해 측에 영향을 미칠 수도 있고, 다량의 영양염을 함유하고 있으며 염분이 낮은 방류수가 외해에 서식하는 해조류에 직·간접적으로 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 방조제 완공의 초기 단계에서 이번 고군산군도 인근 해조류 군집에 관한 다양한 자료는 매우 의미가 있을 것으로 생각된다. 또한, 추후에 발생될 수도 있는 새만금호 내의 다양한 환경변화와 해조군집의 상관관계를 밝히거나 잠재적 유용 해조자원의 효율적인 이용 및 보존, 관리 측면에서 이곳 해조군집의 변화에 대한 장기적이고 주기적인 모니터링이 반드시 필요할 것으로 생각된다.

인용문헌

- Atobe, S. and Saito Y.(1974) Phytosociological study of the intertidal marine algae. III. Effect of wave action on algal zonation. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 24: 133-138.
- Brattström, H.(1980) Rocky-shore zonation in the Santa Marta area, Colombia. Sarsia 65: 163-226.
- Cheney, D.P.(1977) R&C/P-A new and improved ratio for comparing seaweed floras. Suppl. J. Phycol. 13: 129.
- Choi, C.G. (2007) Algal flora and *Ecklonia stolonifera* Okamura (Laminariaceae) population of Youngo in Busan, Korea. Algae 22: 313-318. (in Korean)
- Choi, C.G. and H.S. Rho(2010) Marine algal community of Ulsan, on the eastern coast of Korea. Kor. J. Fish. Aquat. Sci. 43: 246-253. (in Korean)
- Choi, H.G.(2008) Effects of thermal effluents from Wolsong nuclear power plant on macroalgal composition and community structure. Algae 23: 151-162. (in Korean)
- Clarke, K.R. and R.M. Warwick(2001) Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. (2nd ed.), PRIMER-E, Plymouth, 170pp.
- Druehl, L.D.(1966) Vertical distribution of some benthic marine algae in British Columbia Inlet, as related to some environmental factors. J. Fish. Res. Bd. Canada 24: 3-46.
- Feldmann, J.(1937) Recherches sur la vegetation marine de la Mediterranee. La cote des Alveres. 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.
- IRCMA(2009) Consultation on the coastal utilization on construction work across road Gogunsan Islands. Iksan Regional Construction Management Administration. (in Korean)
- Kang, J.W., C.H. Sohn and C.W. Lee(1980) Summer algal flora of Gogunsan Islands, western coast of Korea. The report of the KACN 16: 103-107. (in Korean)
- Kang, P.J. Y.S. Kim and K.W. Nam(2008) Flora and community structure of benthic marine algae in Ilkwang Bay, Korea. Algae 23: 1-10. (in Korean)
- Kapraun, D.F.(1980) Summer aspects of algal zonation on a Texas Jetty in relation to wave exposure. Mar. Sci. 23: 101-109.
- KHOA(2011) Temperature, salinity data of coast. Korea Hydrographic and Oceanographic Administration. <http://www.khoa.go.kr>
- Kim, Y.H.(1994) Seaweed distribution of southeastern Yellow Sea. Yellow Sea Reserch 6: 131-150. (in Korean)
- Kim, Y.H., H.J. Yoon and J.S. Yoo(1995) Species composition and biomass of marine algal community on the mid-western coast of Korea. J. Plant Biol. 38(4): 389-398. (in Korean)
- Kim, Y.S. and J.W. Lee(2001) Summer marine algal flora and vertical distribution at 13 uninhabited Islands near Gogunsangundo and Wido, western coast of Korea. Bull. Coastal Res., Kunsan National Univ. 13(1): 21-32. (in Korean)
- Kim, Y.S.(1997) Physiological study on growth and reproduction of the Korean *Gracilaria verrucosa*(Rhodophyta). Ph. D. Thesis, Pukyong National Univ. pp. 1-6. (in Korean)
- Koh, C.H. and H.B. Lee(1982) Distributional Pattern of Macroalgae in coast of Deogjeog Isladns. The Korean National Council for Conservation of Nature 1: 227-248. (in Korean)
- Koh, C.H.(1983) Community structure and productivity of phyto-benthos in Juckdo(eastern coast of Korea). II. Seasonal changes of algal vegetation in relation to annual growth of large brown algae. Korean J. Bot., 26: 181-190. (in Korean)
- KRCC(2006) Study on ecological change of Saemangeum near-shore area and reclaimed land(III). Korea Rural Community Corporation, pp. 7-50. (in Korean)
- Lee, G.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. (in Korean)
- Lee, H.B. and R.H. Chang(1989) A qualitative and quantitative analysis of seasonal change of an algal community at Padori of Tae-an peninsula, west coast of Korea. *Algae* 4: 19-40. (in Korean)
- Lee, J.W.(1983) Studies on the benthic marine algal flora and community, mid-western coast of Korea I. Summer marine algal flora and community of Maryang ri, Gogunsan Islands and Eocheong do. *Bull. Gunsan Fish. J. Coll.* 17: 93-106. (in Korean)
- Lee, J.W., B.G. Oh and H.B. Lee(1997b) Marine algal flora and community of Podori area in the Taean peninsula, the west coast of Korea. *Algae* 12: 131-138. (in Korean)
- Lee, J.W., B.G. Oh and H.B. Lee(2000) Marine benthic algal community at Padori, west coast of Korea. *Algae* 15 : 111-117. (in Korean)
- Lee, S.W.(1992) The Maritime of Coast of Korea. *Jib-mun-dang*, 334pp. (in Korean)
- Lee, W.J., H.S. Yoon and S. M. Boo(1997a) Marine algal community of Gyonggiman islets on the west sea of Korea. *Algae* 12: 139-144. (in Korean)
- Levine H.G.(1984) The use of seaweeds for monitoring coastal waters. In *algae as ecological indicators*, L. E. Shubert (ed.). Academic Press, New York 189-210 pp.
- 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.
- Lobban, C.S. and P.J. Harrison(1994) *Seaweed Ecology and Physiology*. Cambridge Univ. Press, N.Y., 366pp.
- MAFF and JB(1994) Study on compensation on actual state of fisheries damage. Ministry for Agriculture, Forestry and Fisheries and Jeonla Buk-do, pp. 341-394. (in Korean)
- MFAFF and KRCC(2008) Ecological changes in the Saemangeum water and reclaimed land areas(IV). Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries and Korea Rural Community Corporation, 7pp. (in Korean)
- Oh, B.G. and H.B. Lee(1998) Marine algal flora and community of Uihang in Tae-an Peninsula, western coast of Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 16: 181-192. (in Korean)
- Orfanidis, S.P. Panayotidis and N. Stamatis(2001) Ecological evaluation of transitional and coastal and water; A marine benthic macrophytes-based model. *Medit. Mar. Sci.* 2: 45-65.
- Park, C.S., M.Y. Wee and E.K. Hwang(2007) Summer algal flora of uninhabited in Dochodo, southwestern coast of Korea. *Algae* 22: 305-311. (in Korean)
- Park, Y.K., K.S. Seo and C.K. Choi(2006) *Environmental Biology*. Daehakseolim. (in Korean)
- RKOH(1989) *Sailing Directions of Coast in Korea (Sea of West Coast)*. Republic of Korea Office of the Hydrographic Affairs, 271pp. (in Korean)
- RKOH(1995) *A Tide Table*. Republic of Korea Office of the Hydrographic Affairs, 250pp. (in Korean)
- Russell, B.D., J.I. Thompson, L.J. Fakenberg and S.D. Connel(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, Y. and S. Atobe(1970) Phytosociological study of intertidal marine algae. 1. Usujiri Benten-Jima Hokkaido. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 21: 37-69.
- Saito, Y., K. Taniguchi, S. Atobe and S. Nakamura(1971) Phytosociological study of the intertidal marine algae. III. The algal communities on the vertical substratum face on several directions. *Jap. J. Ecol.* 20: 230-232.
- Segawa, S.(1956) *Coloured Illustrations of the Seaweeds of Japan*. Hoikusha Publ. Co. Osaka.
- SERC(2003) Study on ecological change of Saemangeum near-shore area and reclaimed land(I), Saemangeum Environmental Research Center, Gunsan Nat'l. Univ., 19-24pp. (in Korean)
- Shannon, C.E. and W. Weaver(1963) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illionis Press, Urbana.
- Simpson, E.H.(1949) Measurement of diversity. *Nature* 163: 688.
- Song, H.S., K.S. Seo and S.M. Boo(1996) Field studies of the brown alga *Pelvetia siliquosa* with implications for taxonomy and distribution. *Algae* 11:65-71.
- Tseng, C.K.(1994) Selected works of C.K. Tseng. *Oceanic Pub.*, pp. 272-282.
- Wildowson, T.B.(1965) A survey of the distribution of intertidal algae along a coast transitional in respect to salinity and tidal factors. *J. Fish. Tes. Bd. Canada* 22: 1425-1454.