

한국 제주도 남부 조하대의 해조상 및 군집구조

강규상 · 고훈덕 · 김영식[†]
(군산대학교)

Flora and Community Structure of Subtidal Zone in South Jeju, Korea

Gyu Sang KANG · Yong Deok KO · Young Sik KIM[†]
(Kunsan National University)

Abstract

This study was carried out to examine the species composition and community structure of benthic marine algae at the subtidal zones of Daepo, Wolpyeong, Wimi and Jigwido in south Jeju, Korea from March to December 2009. Total 87 species including 14 green algae, 23 brown algae, and 50 red algae were collected and identified. Among these species, 9 species were found throughout the year. The dominant species which contributed significantly to the total biomass were *Ecklonia cava*, *Undaria pinnatifida*, *Peyssonnelia capensis*, *Cladophora wrightiana*, *Sargassum serratifolium*, *Grateloupia angusta*, *Codium coactum*, *Plocamium cartilagineum*, and *Sargassum macrocarpum*. The average seaweed biomass was 7,578.2 g wet weight m⁻² and maximum biomass was recorded seasonally in spring (9,627.6 g m⁻²), while minimum was recorded in autumn (5,963.0 g m⁻²), by sites maximum biomass Jigwido (12,889.9 g m⁻²), while minimum was recorded in Daepo (5,403.8 g m⁻²). The seasonal and regional flora were investigated as six functional groups. A coarsely branched form was the most dominant functional group constituting from 42.9~52.8% of the total flora. Ecological state group (ESG) II, as an opportunistic species, including sheet form, filamentous form, and coarsely branched form, consisted of 31~59 species, constituting 77.5~84.9%.

Key words: Biomass, Cluster analysis, Dominant species, Ecological State Group, Seaweed

I. 서론

제주도는 우리나라에서 가장 큰 섬으로, 이 해역은 우리나라에서 쿠로시오 난류의 영향을 제일 많이 받는 해역이고, 지리적 영향으로 인해 한반도의 다른 해역에 비해 수온이 따뜻하다. 이러한 이유로 제주도 해역은 국내의 다른 해역들에 비해 일차 생산자인 해조류가 많이 서식하여 해산 식물 자원의 보물섬으로 불릴 만큼 다양하고 풍

부하게 해조류가 분포하고 있는 지역이다(Kim, 1991). 특히 제주도 남부 해역의 문섬은 다양한 무척추동물, 어류, 해조류 등이 서식하고 있어 섬 전체를 천연기념물로 지정하여, 천연보호지역으로 관리하고 있는 실정이어서 생태학적으로도 매우 중요한 지역이다.

연안에서 서식하는 해조류의 분포와 군집구조 분석은 연안 해양 생태계의 다양성과 생산성을 평가하는 중요한 기준으로 활용될 수 있다(Ko et

[†] Corresponding author : author : 063-469-4597, kimys@kunsan.ac.kr

* 이 논문은 해양수산부의 재원으로 해양생명과학기술개발사업 연구개발비 지원에 의해 수행되었음.

al., 2008a). 그러므로 다양한 해양생물자원의 보전과 지속적인 이용을 위해 해조 군집 파악은 반드시 필요한 일이다. 제주도 해역의 해조류에 관한 연구는 Kang (1960)의 연구에서 153종이 보고된 이후, 해조류 분포에 대한 연구(Lee 1976; Lee and Lee, 1976, 1982; Yoon, 1985; Boo, 1988; Kim, 1991)와 생태분야(Lee et al., 1994; Kim and Park, 1997; Oak et al., 2004; Ko et al., 2008b)가 지속적으로 연구되어 그 자료는 많이 축적이 되고 있지만, 많은 연구가 조간대 해역에 치우쳐 있어 조간대 보다 넓은 면적을 차지하고 있는 조하대 해조류에 대한 연구는 많이 부족한 실정이다.

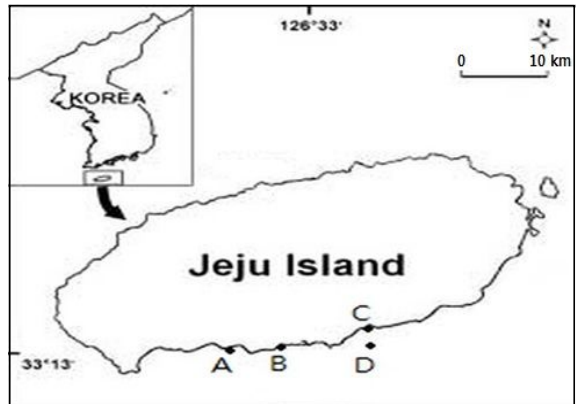
해조류 군집에 관한 초기 연구는 주로 조간대를 중심으로 진행하다가 SCUBA-diving의 도입을 통해 조하대까지 그 대상이 넓어지기 시작하였다. 그러나 조하대 연구는 조간대 조사에 비해 물속으로 들어가서 조사해야 하는 어려움과, 그로 인한 많은 비용과 노동력이 발생하여, 현재까지도 조사가 이루어지지 않은 조하대 지역이 더 많다. 따라서 본 연구는 제주도 남부에 위치한 대포, 월평, 위미 및 지귀도 해역의 조하대의 해조류를 조사하여 각 해역별 해조 군집 특성과 계절별 변동양상을 파악하고 이 결과를 인근 해역에서 선행된 연구와 비교하여 변화양상을 알아보고자 수행되었다.

II. 재료 및 방법

1. 채집방법

제주도 남부 서귀포시에 위치한 4개의 해역인 대포, 월평, 위미 및 지귀도 지역의 조하대에서 2009년 3월부터 2009년 12월까지 계절별로 총 4회에 걸쳐 수행되었다([Fig. 1]). 해조상과 군집 연구는 조하대(5 m, 15 m, 25 m)에서 수행하였고, SCUBA-diving에 의해 채집되었다. 각각의 수심에서 0.5×0.5 m 크기의 방형구를 이용하여, 해조식

생이 잘 발달되어 있는 각각 2지점을 선정하고, 사진을 먼저 촬영한 후에 생물량 연구를 위해 방형구내의 해조류를 파괴적인 방법(destructive method)으로 전량 채집하였고, 촬영된 사진으로 출현종의 피도와 빈도를 측정하였다(Saito and Atobe, 1970). 채집된 해조류는 현장에서 바로 5-10% 포르말린 해수용액으로 고정시켜 실험실로 운반하였고, 종 동정은 크기가 작은 남조류를 제외한 녹조류, 갈조류, 홍조류로 국한하여 분류하였으며, 동정된 해조류의 학명과 국명의 목록 정리는 Lee and Kang (2002)의 분류체계를 따랐다.



[Fig. 1] A map showing the sampling sites in south Jeju island, Korea. (A: Daepo, B: Wolpyeong C: Wimi D: Jigwido)

2. 군집분석 및 군집지수

정량 채집된 해조류는 담수로 수회 세척하여 모래와 불순물을 제거하여 동정한 후에 페이퍼 타월을 이용하여 최대한 습기를 제거한 후 0.01g 수준까지 습증량을 측정하고 단위면적당 생물량 ($g\ m^{-2}$)으로 환산하였다. 채집된 해조류의 종조성, 피도 및 빈도 등 군집분석에서 보완적인 정성 및 정량자료를 산출하기 위하여 상대 피도(RC, relative coverage), 상대 빈도(RF, relative frequency) 및 중요도(IV, important value)는 각 방형구에서 출현한 해조류 각 종의 피도(coverage)와 빈도(frequency)

를 구한 후에 산정하였다(Barbour et al., 1987). 출현종과 생물량으로 우점도 지수(Dominance index, DI)와 종 다양도지수(Diversity index, H')를 계산하였다(Simpson, 1949). 출현종의 유무(Presence/absence) 자료를 이용하여 Bray-Curtis (Bray and Curtis, 1957)의 유사도 지수(Similarity) 및 출현종에 대한 우점도 경향을 비교하기 위한 *k*-dominance 곡선(Lambshead et al., 1983) 으로 계산 및 도식화하였으며, 유사도 분석에 따른 각 그룹의 유의차는 Similarity profile test (SIMPRPF)를 실시하여 검정하였다. 정성 채집된 해조류를 동정하여 분류군별로 구분한 후, 갈조류에 대한 녹조류의 구성비 C/P (Segawa, 1956), 갈조류에 대한 홍조류의 구성비 R/P (Feldmann, 1937), 그리고 홍조류와 녹조류의 합과 갈조류의 구성비인 (R+C)/P (Cheney, 1977) 값을 산출하였다.

3. 기능형군 분석

Littler and Littler(1984)에 의한 해조류의 기능형군 분류를 근거로 본 연구기간에 4개의 정점에서 출현한 해조류를 형태 및 내부구조에 따라 6개의 기능형군, 엽상형(sheet form; S), 사상형(filamentous form; F), 성긴분지형(coarsely branched form; CB), 다육질형(thick leathery form; TL), 유절산호말형(jointed calcareous form; JC) 및 각상형(crustose form; C)으로 나누어 분석하였으며(Littler and Littler, 1984; Steneck and Dethier, 1994), 이를 토대로 하여 생태학적 상태 그룹(Ecological State Group, ESG) ESG I (다육질형, 유절산호말형, 각상형)과, ESG II(엽상형, 사상형, 성긴분지형)로 구분하였다(Orfanidis et al., 2003).

III. 결 과

1. 출현종

연구 지역에서 출현한 해조류는 녹조류 14종, 갈조류 23종 및 홍조류 50종으로 총 87종이었다

(<Table 1>). 출현종수에 대한 비율은 녹조 16.1%, 갈조 26.4% 및 홍조 57.5%로 홍조류가 가장 높은 비율로 출현하였다. 각 계절별로 출현한 해조류의 종수는 여름에 61종으로 가장 많이 출현하였으며, 봄 53종, 겨울 51종, 가을에 40종 순으로 나타났다. 정점별 출현종수를 비교해 보면 지귀도에서 70종으로 가장 많이 출현하였으며, 위미 67종, 월평 59종, 대포 53종 순으로 나타났다 (<Table 1>).

계절별로 전 지역에서 연중 관찰된 해조류는 총 9종으로, 녹조류 1종 갈색대마디말(*Cladophora wrightiana*), 갈조류 1종 감태(*Ecklonia cava*), 홍조류 7종 새발류(*Acanthopeltis* sp.), 자루바다표고(*Peyssonnelia capensis*), 붉은뼈까막살(*Grateloupia angusta*), 참곱슬이(*Plocamium telfairiae*), 낭과쩍(*Synarthrophyton chejuensis*), 유절산호조류(articulated coralline algae) 및 무절산호조류(crustose coralline algae)로 홍조류가 약 77% 비율로 가장 높게 나타났고, 녹조류의 대마디불이(*Cladophoropsis herpestica*), 떡청각(*Codium arabicum*), 누운청각(*Codium coactum*) 및 구슬청각(*Codium minus*), 갈조류의 큰열매모자반(*Sargassum macrocarpum*), 홍조류의 꿩꼬리풀(*Phacelocarpus japonica*)과 가는곱슬이(*Plocamium cartilagineum*)도 전 지역에서 연중 출현하지는 않았지만, 4개 해역의 계절별 4회 조사인 총 16회의 조사 횟수 중에서 14회 이상으로 높게 출현하여 이 해역에서 가장 일반적인 해조류로 확인되었다.

2. 중요도

전체 출현종 중에서 중요도가 15 이상을 나타낸 해조류는 감태와 유절산호조류로 나타났다. 계절별로 중요도가 15 이상인 종을 보면 봄에는 전 지역에서 감태와 유절산호조류가 높은 중요도를 나타내었고, 대포에서 갈색대마디말도 16.1로 높은 중요도를 나타냈다. 여름에는 감태가 전 지역에서 높은 중요도를 나타냈고, 유절산호조류도

<Table 1> The number of benthic algal species occurred in south Jeju island, Korea

Division	Site	Spring				Summer				Autumn				Winter				Total
		Dae	Wol	Wi	Ji	Dae	Wol	Wi	Ji	Dae	Wol	Wi	Ji	Dae	Wol	Wi	Ji	
Chlorophyta		4	8	8	5	6	6	9	7	5	6	9	10	5	5	5	6	14
Phaeophyta		6	14	14	12	8	14	14	15	3	5	2	8	8	7	6	13	23
Rhodophyta		17	23	23	22	17	22	28	21	15	13	11	13	24	18	17	24	50
Total		27	45	45	39	31	42	51	43	23	24	22	31	37	30	28	43	87

Dae, Daepo; Wol, Wolpyeong; Wi, Wimi; Ji, JJigwido

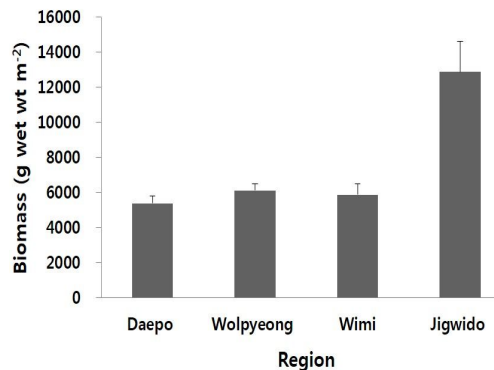
위미 13.6을 제외하고는 나머지 지역은 15 이상으로 높게 나타났고, 위미에서 무절산호조류가 24.0으로 나타났으며, 월평에서 자루바다표고가 15.7로 높은 중요도를 나타냈다. 가을에는 전 지역에서 유절산호조류가 높은 중요도를 나타냈고, 감태도 위미를 제외하고는 나머지 지역에서 높은 중요도를 나타냈으며, 대포에서 자루바다표고가 18.8로 나타났고, 위미에서 갈색대마디말도 18.7로 나타났고, 무절산호조류도 위미와 지귀도에서 17.5로 높은 중요도를 나타냈다. 겨울에는 전 지역에서 감태와 유절산호조류가 높은 중요도를 나타내었고, 월평에서도 자루바다표고가 15.0으로 나타났다(<Table 2>).

3. 생물량

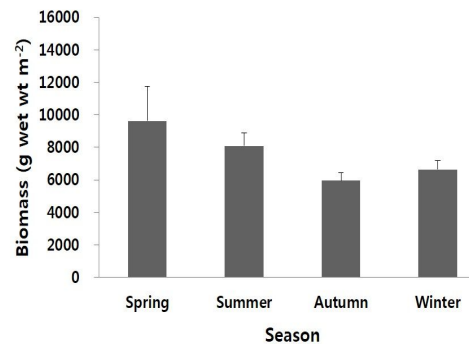
생물량이 100 g m⁻² 이상을 나타낸 해조류는 감태, 미역(*Undaria pinnatifida*), 자루바다표고, 갈색대마디말, 톱니모자반(*Sargassum serratifolium*), 붉은뼈까막살, 누운청각, 참곱슬이, 큰열매모자반, 넓은사슬풀(*Champia expensa*), 떡청각 및 구슬청각으로 나타났다.

연평균 생물량은 7,578.2 g m⁻²로 나타났으며, 계절별 생물량은 봄에 9,627.6 g m⁻²로 가장 높은 값을 기록하였으며, 여름 8,084.0 g m⁻², 겨울 6,638.1 g m⁻², 가을에 5,963.0 g m⁻²순으로 나타났다([Fig. 2]). 정점별 생물량은 지귀도에서 가장 많은 12,889.9 g m⁻²로 가장 많이 조사 되었고,

나머지 대포, 월평, 위미, 지귀도는 각각 5403.8 g m⁻², 6,131.9 g m⁻², 5,887.1 g m⁻²으로 비슷한 생물량을 보였다([Fig. 3]).



[Fig. 2] Seasonal variation of total biomass of south Jeju island, Korea.



[Fig. 3] Regional variation of total biomass of south Jeju island, Korea.

<Table 2> Seasonal important value (IV) of the major benthic marine algal species (IV>5.0) calculated by relative coverage (RC) and relative frequency (RF) of south Jeju island, Korea

Season	Species	Site			
		Daepo	Wolpyeong	Wimi	Jigwido
Spring	<i>Cladophora wrightiana</i>	16.1		7.6	8.2
	<i>Ecklonia cava</i>	19.4	22.7	18.5	22.8
	<i>Undaria pinnatifida</i>				14.0
	<i>Sargassum serratifolium</i>		7.2		
	articulated coralline algae	26.8	27.3	32.0	22.8
	crustose coralline algae	14.4	8.8	14.5	9.9
	<i>Peyssonnelia capensis</i>	9.4	11.8	8.7	
	<i>Grateloupia angusta</i>			8.7	
	<i>Plocamium cartilagineum</i>				7.4
Summer	<i>Cladophora wrightiana</i>	6.4			7.8
	<i>Ecklonia cava</i>	16.4	33.9	18.4	28.8
	<i>Sargassum macrocarpum</i>				5.8
	articulated coralline algae	41.0	18.7	13.6	35.2
	crustose coralline algae	10.6	12.6	24.0	10.9
	<i>Peyssonnelia capensis</i>	13.5	15.7	14.8	
	<i>Grateloupia angusta</i>	7.3	11.0	10.8	
Autumn	<i>Cladophora wrightiana</i>	5.2		18.7	
	<i>Codium coactum</i>			11.9	
	<i>Ecklonia cava</i>	27.7	31.6		18.6
	<i>Sargassum serratifolium</i>				6.4
	articulated coralline algae	30.3	24.4	33.0	37.7
	crustose coralline algae	7.3	14.9	17.5	17.5
	<i>Peyssonnelia capensis</i>	18.8	13.3		5.4
Winter	<i>Cladophora wrightiana</i>	7.9			
	<i>Ecklonia cava</i>	29.5	25.1	27.5	36.2
	articulated coralline algae	36.4	33.5	37.6	30.7
	crustose coralline algae	7.7	9.1	14.1	12.4
	<i>Peyssonnelia capensis</i>	6.1	15.0	5.1	
	<i>Grateloupia angusta</i>			8.3	
	<i>Plocamium cartilagineum</i>	6.9	8.6		7.4

지역별로 출현종에 대한 우점도 경향을 비교하기 위해 지역별 해조류 평균 생물량을 이용해 나타난 K-dominance 곡선을 보면, 우점종 3종의 생물량이 대포에서는 감태, 갈색대마디말 및 자루바다표고가 전체 생물량의 88.8%를 차지하였으며, 월평에서는 감태, 자루바다표고 및 붉은뼈까막살이 84.1%, 위미에서는 감태, 갈색대마디말 및 누운청각이 78.0%, 지귀도에서는 감태, 미역 및

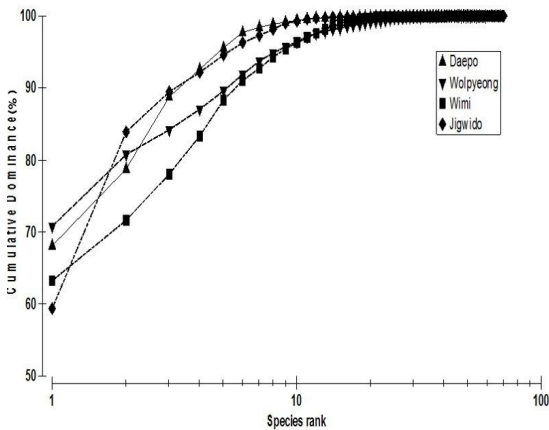
툽니모자반이 89.4%로 나타났다([Fig. 4])

4. 수직분포

해역별 수직분포는 대포의 5 m에서 유절산호조류와 갈색대마디말이 분포하였고, 15 m에서는 유절산호조류, 감태가 분포하였고, 25 m에서는 유절산호조류와 자루바다표고가 주로 분포하였다. 월평에서는 5 m와 15 m에서 유절산호조류와

<Table 3> Vertical distribution of benthic marine algal community in south Jeju island, Korea.

Depth	Site			
	Daepo	Wolpyeong	Wimi	Jigwido
5 m	articulated coralline algae <i>Cladophora wrightiana</i>	articulated coralline algae <i>Ecklonia cava</i>	articulated coralline algae <i>Ecklonia cava</i>	articulated coralline algae crustose coralline algae
15 m	articulated coralline algae <i>Ecklonia cava</i>	articulated coralline algae <i>Ecklonia cava</i>	articulated coralline algae crustose coralline algae <i>Cladophora wrightiana</i> <i>Grateloupia angusta</i>	articulated coralline algae <i>Ecklonia cava</i> <i>Cladophora wrightiana</i>
25 m	articulated coralline algae <i>Peyssonnelia capensis</i>	<i>Peyssonnelia capensis</i>	articulated coralline algae <i>Peyssonnelia capensis</i> <i>Grateloupia angusta</i>	articulated coralline algae crustose coralline algae



[Fig. 4] K-dominance curves (X-axis logged) for average algae biomass at four study sites of south Jeju island, Korea.

감태가 분포하였고, 25 m에서는 자루바다표고가 주로 분포하였다. 위미에서는 5 m에서 유절산호조류와 감태가 분포하였고, 15 m에서 유절산호조류, 무절산호조류, 붉은뼈까막살 및 갈색대마디말이 분포하였고, 25 m에서는 유절산호조류, 자루바다표고 및 붉은뼈까막살이 분포하였다. 지귀도에서는 5 m와 10 m에서 유절산호조류, 감태 및 갈색대마디말이 분포하였고, 25 m에서는 유절산호조류와 무절산호조류가 분포하였다(<Table 3>).

5. 해조상 특징

해조류의 지역적 특성의 기준으로 이용되는 C/P, R/P 그리고 (R+C)/P의 값을 비교하기 위하여 총 출현종수를 식물군별로 분석한 결과, C/P값은 월평에서 0.65에서 최대값을 보였으며, 지귀도에서 0.59로 최소값을 보였고, R/P값은 대포에서 2.46로 최대값을 보였으며, 지귀도에서 1.59로 최소값을 보였다. (R+C)/P값은 대포에서 3.08로 나타났다, 나머지 위미, 월평 및 지귀도 지역에서 각각 2.53, 2.47 및 2.18이었다(<Table 4>).

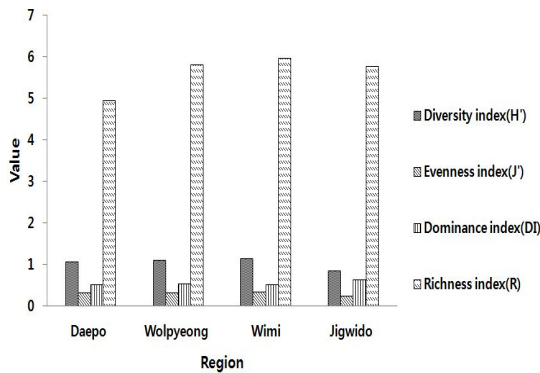
<Table 4> Comparison of R/P, C/P and (R+C)/P value of benthic marine algal flora in south Jeju island, Korea

Flora characteristics	Site				Total
	Daepo	Wolpyeong	Wimi	Jigwido	
R/P	2.46	1.82	1.89	1.59	2.17
C/P	0.62	0.65	0.63	0.59	0.61
(R+C)/P	3.08	2.47	2.53	2.18	2.78

6. 군집지수 및 집괴분석

해조류의 생물량을 이용하여 산출한 다양한 군집지수를 분석한 결과, 출현종수와 중간 생물량의 분포인 균등도지수에 의해 결정되는 다양도지수는 위미에서 1.14로 최대값을 보였으며, 지귀도

에서 0.85로 최소값을 보였고, 출현종수와 생물량에 따라 변화하는 균등도지수는 위미에서 0.33으로 최대값을 보였으며, 지귀도에서 0.23으로 최소값을 보였다. 우점도지수는 지귀도에서 0.63으로 최대값을 보였으며, 대포와 위미에서 0.50으로 최소값을 보였고, 출현종수와 관련된 풍부도지수는 위미에서 5.97로 최대값을 보였으며, 대포에서 4.97로 최소값을 보였다([Fig. 5]).



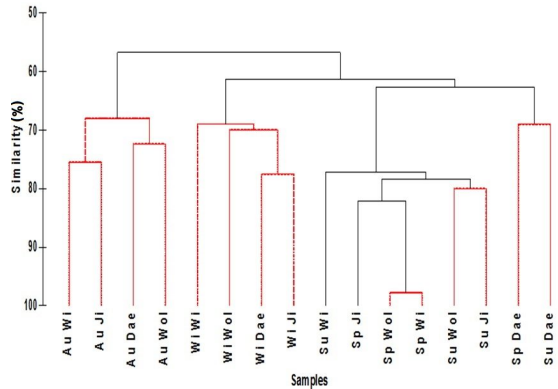
[Fig. 5] Various community indices of benthic marine algal flora for biomass in south Jeju island, Korea.

각 해역에 출현한 출현종의 생물량 자료를 이용하여 집괴분석을 한 결과는 유사도 70% 수준에서 네 그룹으로 묶였는데, 가을 조사군, 겨울 조사군이 약 70% 수준에서 독립된 군으로 묶였고, 봄과 여름 조사시기의 대포 해역, 그리고 나머지 해역이 한 그룹으로 묶였다([Fig. 6]).

7. 기능형군

연구기간에 4개의 정점에서 출현한 해조류를 형태 및 내부구조에 따라 6개의 기능형군으로 구분한 결과, 성긴분지형 38종(43.7%), 엽상형 22종(25.3%), 사상형 14종(16.1%), 다육질형 7종(8.0%), 각상형 4종(4.6%) 및 유질산호말형 2종(2.3%) 순이었다. 출현종 총 87종에서 생태학적 상태 그룹 I (ESG I)에 속하는 종은 13종(14.9%)이고, 생태학적 상태 그룹 II(ESG II)에 속하는 종은 74종

(85.1%)로 나타났다. 지역별 기능형의 구성 종을 살펴보면 모든 계절에서 성긴분지형이 42.9~49.3% 범위로 높게 비율을 나타내었고, 생태학적 상태 그룹은 ESG I 이 8~11종(15.1~18.6%), ESG II 45~59종(81.4~84.9%)로 나타났다(<Table 5>).



[Fig. 6] A dendrogram produced by PRIMER 6 for cluster analysis in south Jeju island, Korea (Sp, Spring; Su, Summer; Au, Autumn; Wi, Winter; Dae, Daepo; Wol, Wolpyeong; Wi, Wimi; Ji, Jigwido).

<Table 5> Regional variation in the number of benthic marine algal functional forms of south Jeju island, Korea.

Functional form	Site			
	Daepo	Wolpyeong	Wimi	Jigwido
S (ESG II)	10(18.9%)	14(23.7%)	15(22.4%)	17(24.3%)
F (ESG II)	9(17.0%)	5(8.5%)	8(11.9%)	10(14.3%)
CB (ESG II)	26(49.1%)	29(49.2%)	33(49.3%)	30(42.9%)
TL (ESG I)	4(7.5%)	6(10.2%)	6(9.0%)	7(10.0%)
JC (ESG I)	1(1.9%)	1(1.7%)	1(1.5%)	2(2.9%)
C (ESG I)	3(5.7%)	4(6.8%)	4(6.0%)	4(5.7%)
No. of ESGII	45(84.9%)	48(81.4%)	56(83.6%)	59(84.3%)
No. of ESG I	8(15.1%)	11(18.6%)	11(16.4%)	11(15.7%)
Total	53(100%)	59(100%)	67(100%)	70(100%)

IV. 고찰

본 연구에서 채집 동정된 해조류는 총 87종, 녹조 14종, 갈조 23종 및 홍조 50종으로 나타났다(<Table 1>). 해역별 출현 종수는 지귀도가 가

장 많은 70종으로 나타났고, 대포, 월평, 위미에서 각각 53종, 59종, 67종으로 조사되었는데, 지귀도 해역이 조사 해역 중 유일한 섬이고 외해에 위치해 있어 많은 출현종수를 나타낸 것으로 사료된다. 이러한 출현 종수는 이번 연구와 같이 비슷한 시기에 조하대만 조사된 Ko et al. (2008b)의 문섬 연구를 통해 보고된 46종, Lee (2007)의 총 71종, 강정 37종, 북촌 35종, 온평 13종 및 용수 39종, Oak et al. (2004)의 총 47종, 숲섬 41종과 성산포 19종 보다는 다소 출현종수가 많았다 (<Table 6>). 그러나 동일한 제주 해역에서 Kang (1960)의 153종, Lee (1974)의 101종, Yoon (1985)의 189종, Lee et al. (1998) 169종 및 Kim (2008)의 162종 보다는 출현종수가 매우 적은 결과이다. 그러나, 이러한 차이는 이들의 연구가 조간대와 조하대를 동시에 조사한 자료임을 고려해야 할 것이다. 특히 이번 연구에서는 동정하기 매우 어려운 무절산호조류와 유절산호조류를 구체적으로 구별하지 않고, 각각 하나의 그룹으로 규정한 결과로 추정된다.

특정 해역의 해조상의 특성을 분석하는 지표로 Cheney (1977)은 (R+C)/P값을 제안하여 3 보다 작을 경우는 온대성 내지 한대성의 해조상이고, 6 이상이면 열대성 해조상이며, 그 중간 값이면 혼합성 해조상이라고 제안하였다. 이 지표로 볼 때 제주 남부 4개의 해역인 대포, 월평, 위미, 지귀도의 (R+C)/P값은 각각 3.08, 2.47, 2.53, 2.18로 나타나 대포 해역만 혼합성 해조상으로 볼 수 있으며, 나머지 해역은 온, 한대성 해조상이라 추정할 수 있다. 그러나, 앞서에서도 언급하였다시피 홍조류인 무절산호말과 유절산호말을 구체적으로 정밀히 동정하지 않았음을 고려해볼 때 혼합성 해조상으로 보는 것이 더 타당할 것으로 사료된다. 본 연구 시기와 비슷한 Ko et al. (2008b)의 문섬 연구에서도 3.14로 대포와 같이 혼합성 해조상을 나타내었고, 앞선 Oak et al. (2004)의 연구에서 성산포 해역의 (R+C)/P 값이 5.33으로서 역시 혼합성 해조상의 값을 나타내었지만, 성산

포 해역은 숲섬과 달리 계절별 4회 조사가 아닌 3회 조사임을 고려해야 할 것으로 판단된다 (<Table 6>).

생물량 자료는 군집의 특성을 이해하는데 있어서 중요한 척도가 되고 있기 때문에 각 연안 해조군집의 특성을 정량적으로 파악하여, 서로 비교하기 위해서는 다양한 정점들에서 생물량 자료를 비교 검토하는 것이 해조군집을 분석하는데 중요한 것으로 파악되었다(Choi et al., 2006). 제주 남부 4개 해역의 조하대의 평균 생물량은 대포 1.351 g m⁻², 월평 1,533 g m⁻², 위미 1,472 g m⁻²로 비슷한 생물량을 나타내었고, 지귀도 해역만 3,222 g m⁻²로 높은 생물량을 나타냈는데, 그 이유는 아마도 지귀도 해역에서 대형 갈조류인 감태와 미역의 생물량이 다른 해역보다 높게 나와 이와 같은 양상을 보이는 것으로 추정된다.

같은 제주 남부 해역인 Ko et al. (2008b)의 문섬 해역 생물량인 2,784 g m⁻²과 비교해 보면, 지귀도는 문섬보다 많은 양이, 대포, 월평, 위미는 적은 양으로 확인 되었는데, 이것은 문섬과 지귀도가 본 섬이 아닌 외해의 작은 섬 이기에 대포, 월평, 위미보다 많은 생물량이 나타난 것으로 판단된다(<Table 6>).

전체 출현종 중에서 중요도(IV, important value)가 15 이상을 나타낸 종은 대형 갈조류인 감태와 유절산호조류로 나타났는데, 그 외에도 중요도가 5 이상인 종들인 누운청각, 갈색대마디말, 미역, 모자반류(*Sargassum* spp.), 자루바다표고, 무절산호조류 및 참곱슬이로 Oak et al. (2004)의 숲섬, 성산포 연구와 유사한 결과를 나타내었다.

동해안과 남해안을 중심으로 이뤄진 조하대 해조군집의 국내 연구(Ko and Sung, 1983; Koh, 1983; Sohn et al., 1983; Lee et al., 1991; Kang et al. 1993; Yoo, 2003)에서 이들 군집을 대표하는 우점종은 대부분 대형 갈조류에 속한 종들이며, Oak et al. (2004)은 제주도 연안의 해조 군집에서 감태와 모자반류가 주요종 역할을 한다고 하였다. 생물량(g wet wt. m⁻²)을 통해 알아본 우점종

<Table 6> Comparison of flora characteristics and number of benthic marine algal species investigated at the Jeju island, Korea

Site	Flora characteristic			No. of species	Biomass (g m ⁻²)	References
	C/P	R/P	(R+C)/P			
Supseom	0.23	0.52	2.15	41	nd	Oak et al., 2004
Seongsanpo*	1.33	0.25	5.33	19	nd	
Kangjeong	0.21	0.70	1.64	37	nd	Lee, 2007
Boukchon	0.89	0.50	2.89	35	nd	
Onpyong	0.75	0.67	2.25	13	nd	
Yongsu	0.21	0.64	1.79	39	nd	
Moonseom	0.44	0.36	3.14	46	22,268	Ko et al., 2008b
Daepo	0.62	0.41	3.08	53	1,351	
Wolpyeong	0.65	0.55	2.47	59	1,533	This study
Wimi	0.63	0.53	2.53	67	1,472	
Jigwido	0.59	0.63	2.18	70	3,222	

nd, No data; *, three seasons

양상은 본 연구의 4개의 지역에서 대형 갈조류인 감태가 최우점종으로 출현하였는데, 이는 Ko et al. (2008b)의 문섬 연구에서도 같은 결과를 나타내었다. 그 외에도 미역과 모자반류 같은 갈조류가 준우점하고 있었고, 녹조류의 누운청각과 갈색대마디말, 홍조류의 자루바다표고, 참곱슬이 및 붉은뼈까막살도 우점 하였다.

수직분포에 따른 주요 종은 유절산호조류와 무절산호조류는 5 m, 15 m, 25 m로 조사된 본 조사에서 전 수심에서 나타났으며, 감태와 갈색대마디말은 5 m, 15 m의 수심에서 주로 나타났다. 그 외에 붉은뼈까막살은 15 m와 25 m의 수심에서 주로 나타났고, 25 m의 수심에서는 자루바다표고가 나타났다. 이 결과는 1 m, 5 m, 10 m의 수심으로 수직분포를 조사한 Ko et al. (2008b)의 문섬 지역과 비교해보면, 비록 25 m의 수심이 조사가 되어있지 않아 직접적인 비교를 할 수 없었지만, 5 m, 10 m의 수심에서 감태와 유절산호조류가 주로 나타나는 것으로 확인되어 앞서의 연구와 비슷한 수직분포 양상을 나타내고 있다고 할 수 있을 것이다.

Park et al. (2006)은 종다양도지수를 이용하여 군집 안정도 및 환경상태의 평가가 가능하다고 하였는데, 종 다양도지수가 2.0~3.0의 경우 군집

안정도는 불안정하고 환경상태는 다소 양호한 것으로 평가하였으며, 1.0~2.0인 경우 군집안정도가 불안정하고 환경상태도 나쁜 것으로 평가할 바 있다. 본 연구의 4개 해역에서 종다양도지수는 0.85~1.14의 범위로 나타나 군집 안정도와 환경 상태가 불안정한 것으로 나타났다. 이것은 연구 해역인 서귀포시 인근 지역이 관광객이 많이 찾은 지역으로서 정도의 차이가 있겠지만 인위적인 교란 등이 해양생태계 전반에 영향을 주었을 것으로 사료된다(Fig. 5).

생물량을 바탕으로 한 각 정점별, 조사시기별 집괴분석을 살펴보면 약 70%의 유사도 수준으로 가을 조사 시기, 겨울 조사 시기, 봄-여름 조사 시기로 그룹이 나누어지는 것으로 보아 각 계절별 조사 정점간의 해조군집이 유사하다는 것을 알 수 있었다(Fig. 6). 그러나 4개 정점으로 비교를 해보면, 대포, 월평, 위미가 한 그룹으로 묶이고 지귀도만 분리되어 나타났는데, 그 이유는 앞의 세 지역은 생물량이 서로 비슷해 한 그룹으로 묶였고, 지귀도는 앞의 세 지역보다 생물량이 높아 따로 분리되는 그룹으로 묶인 것으로 추정된다.

Orfanidis et al. (2001)은 안정된 환경에서 서식하며 생장이 느린 해조류(다육질형, 유절산호말형, 각상형)를 ESG I, 환경적 스트레스가 심한 교

란 혹은 오염지역에서 빠른 성장을 하며, 생산력이 높은 해조류(엽상형, 사상형, 성긴분지형)를 ESG II로 구분하였다. 본 연구기간에 4개의 정점에서 출현한 해조류를 6개의 기능형군으로 구분한 결과, 성긴분지형 38종(43.7%), 엽상형 22종(25.3%), 사상형 14종(16.1%), 다육질형 7종(8.0%), 각상형 4종(4.6%) 및 유절산호말형 2종(2.3%)으로 성긴분지형이 가장 많은 종수를 나타냈다. 전체 출현종 87종에서 생태학적 상태 그룹 I (ESG I)에 속하는 종은 13종(14.9%)이고, 생태학적 상태 그룹 II(ESG II)에 속하는 종은 74종(85.1%)로 ESG II가 높은 비율로 나타내어 ESG II의 비율이 서해 지역인 Lee et al. (2007)의 태안 87.5%, 동해 지역인 Choi (2008)의 경주 82.7%, Kim et al. (2008)의 추자도지역 85.8%와 유사하게 나타났기 때문에 전 해역에서 비슷한 비율을 나타냈고, 기능형군도 성긴분지형이 가장 많이 나타나 본 연구와 비슷한 결과를 나타냈다. 계절별로 생태학적 상태그룹 ESG II에 속하는 출현종수는 봄에 42종(79.2%), 여름에 50종(82.0%), 가을에 31종(77.5%) 및 겨울에 43종(84.3%)으로, 여름에 가장 많이 나타났다(Table 9). 지역별 생태학적 상태 그룹 II (ESG II)에 속하는 출현 종수는 대포 45종(84.9%), 월평 48종(81.4%), 위미 56종(83.6%) 및 지귀도 59종(84.3%)으로 지귀도가 가장 많이 나타났다(<Table 5>).

결론적으로 제주 남부 4개 해역인 대포, 월평, 위미, 지귀도의 해조상을 비교해보면 조사 정점 중 유일한 섬 지역인 지귀도 지역이 출현종수 및 생물량이 가장 높게 나타났다. 주요 우점종은 감태와 미역, 모자반류 같은 대형 갈조류가 주로 우점 하였으나, 본 연구에서 생물량은 높게 나오지 않았지만, 유절산호조류와 무절산호조류의 피도가 높게 나왔는데, 추후에는 이 해역의 갯녹음 현상과 연관지어 좀 더 관심 깊게 지켜보아야 할 것으로 사료된다. 뿐만 아니라 생태학적 상태 그룹 II(ESG II)의 비율이 높게 나온 점으로 볼 때 본 연구 해역의 환경적 스트레스가 있는 것으로

판단되기에 이 해역 해조 군집의 변화를 지속적으로 모니터링 해야 할 필요가 있을 것으로 생각된다.

References

- Barbour, M. G. · Burk, J. H. & Pitts, W. D.(1987). *Terrestrial Plant Ecology*, The Benjamin/ Cumming Pub. Co., Inc.
- Boo, S. M.(1988). Distribution theory study of Cheju sea areas algae, *Journal of Cheju Studies*, 5, 97~144.
- Bray, J. R. & Curtis, J. T.(1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin, *Ecological Monographs*, 27, 325~349.
- Cheney, D. P.(1977). R & C/P-A new and improved ratio for comparing seaweed floras, *Supplement Journal of Phycology*, 13, 129.
- Choi, C. G. · Kwak, S. N. & Sohn, C. H.(2006). Community structure of subtidal marine algae at Uljin on the east coast of Korea, *Algae*, 21, 463~470.
- Choi, H. G.(2008) Effects of thermal effluents from Wolseong nuclear power plant on macroalgal composition and community structure, *Algae*, 23, 151~162.
- Feldmann, J.(1937). Recherches sur la végétation marine de la Méditerranée. La côte des Alvères. *Rev. Algol.*, 10, 1~339.
- Kang, J. W.(1960). The summer algal flora of Cheju Island (Quelpart Island), *Bulletin of Pusan Fisheries College*, 3, 17~23.
- Kim, M. S. · Kim, M. · Chung, M. H. · Kim, J. H. & Chung, I. K.(2008). Species composition and biomass of intertidal seaweeds in Chuja Island, *Algae*, 23, 301~310.
- Kim, Y. H.(1991). Marine plant resources of Cheju Island, *Journal of Cheju Studies*, 8, 137~156.
- Kim, Y. H. & Park, S. H.(1997). Succession pattern of intertidal benthic algal communities in Cheju Island, *Algae*, 12, 23~30.
- Ko, C. H. & Sung, N. G.(1983). Community structure and productivity of phytobenthos in Jukdo (Eastern coast of Korea)-I. Benthic marine algal vegetation and its environment, *Korean Journal of Botany*, 26, 119~130.

- Ko, Y. W. · Sung, G. H. & Kim, J. H.(2008a). Estimation for seaweed biomass using regression: A methodological approach, *Algae*, 23, 289~294.
- Ko, Y. W. · Sung, G. H. · Yi, C. H. · Kim, H. H. · Choi, D. H. · Ko, Y. D. · Lee, W. J. · Koh, H. B. · Oak, J. H. · Chung, I. K. & Kim, J. H.(2008b). Temporal variations of seaweed biomass in Korean coast: Munseom, Jeju island, *Algae*, 23, 295~300.
- Koh, C. H.(1983). Community structure and productivity of phytobenthos in Jukdo (eastern coast of Korea). II Seasonal changes of algal vegetation in relation to annual growth large brown algae, *Korean Journal of Botany*, 26, 181~190.
- Lamshead, P. J. D. · Platt, H. M. & Shaw, K. M.(1983). The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity, *Journal Natural History*, 17, 859~874.
- Lee, I. K. · Kim, Y. H. · Lee, Y. P. & Park, S. H.(1994). Qualitative and quantitative analyses of intertidal benthic algal community in Cheju island 1. Species composition and distributional patterns, *Korean Journal of Phycology* 9, 193~203.
- Lee, J. C.(2007). Study on the Algal Vegetation in the Subtidal Zone of Jeju Island, Master of Science, Cheju National University, 52.
- Lee, K. W.(1976). Survey of the algal flora of Jeju Island, *Bulletin of Marine Biological Station Cheju University*, 1, 21~42.
- Lee, K. W. & Ko, S. J.(1991). Algal flora of four Islets without inhabitants along the coast of Cheju Island, *Cheju Inhabited of the Research Report*, 239~269.
- Lee, K. W. · Shon, C. H. & Chung, S. C.(1998). Marine algal flora and grazing effect of sea urchins in the costal waters of Cheju Island, *Journal of Aquaculture*, 11, 401~419.
- Lee, Y. P. & Kang, S. Y.(2002). A Catalogue of the Seaweeds in Korea. Cheju National University Press, Cheju, Korea, 662.
- Lee, Y. P. & Lee, I. K.(1976). On the algal community in the intertidal belt of Jeju island, *Korean Journal of Botany*, 19, 111~118.
- Lee, Y. P. & Lee, I. K.(1982). Botanical distribution studies of rock algal island resources. *Seoul National University Journal*, 7, 73~91.
- Littler, M. M. & Littler, D. S.(1984). Relationships between macroalgal functional form groups and substrate stability in a subtropical rocky intertidal system, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 74, 13~34.
- Oak, J. H. · Keum, Y. S. · Hwang, M. S. & Oh, Y. S. (2004). Subtidal algal community of Supseom and Seongsanpo in Jeju Island, *Underwater Science & Technology*, 5, 3~9.
- Orfanidis, S. · Panayotidis, P. & Stamatis, N.(2001). Ecological evaluation of transitional and coastal and water; A marine benthic macrophytes-based model, *Mediterranean Marine Science*, 2, 45~65.
- Orfanidis, S. · Panayotidis, P. & Stamatis, N.(2003). An insight to the ecological evaluation index (EEI), *Ecological Indicators*, 3, 27~33.
- Park, Y. K. · Seo, K. S. & Choi, C. K.(2006) *Environmental Biology*, Daehakseolim.
- Saito, Y. & Atobe, S.(1970). Phytosociological study of intertidal marine algae. 1. Usujiri Benten-Jima, Hokkaido, *Bulletin of Faculty of Fisheries Hokkaido University*, 21, 37~69.
- Segawa, S.(1956). Coloured Illustrations of the Seaweeds of Japan, Hoikusha Publ. Co. Osaka.
- Simpson, E. H.(1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163, 688.
- Sohn, C. H. · Lee, I. K. & Kang, J. W.(1983). Benthic marine alga of Dolsan-Island in the southern coast of Korea. II Structure of algal communities of subtidal zone, *Bulletin of Korean Fisheries Society*, 16, 379~388.
- Yoo, J. S.(2003). Structural characteristics of benthic algal community in the subtidal zone of Yeongil inner and outer bay, *Algae*, 18, 365~369.
- Yoon, J. T.(1985). Flora of Marine Algae in Cheju Island, Master of Science, Cheju National University. 31.

-
- 논문접수일 : 2015년 01월 21일
 - 심사완료일 : 1차 - 2015년 02월 05일
 - 게재확정일 : 2015년 02월 10일