

이른 여름 제주 해안 주변 해역의 해양 환경과 식물플랑크톤 군집의 분포 특성

윤 양 호*

전남대학교 해양기술학부

Marine Environments and Phytoplankton Community around Jeju Island, Korea in the Early Summer of 2016

Yang Ho Yoon*

Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 56828, Republic of Korea

Abstract - This study described the spatial distributions of marine environmental factors such as water temperature, salinity, chlorophyll *a* concentration and turbidity, and characteristics of phytoplankton community such as species composition, standing crops and dominant species at 19 fishing ports around Jeju Island during the early summer of 2016. I analyzed bio-oceanographical characteristics using principal component analysis (PCA) of the environmental factors and biological parameters. Water temperature, salinity, chlorophyll *a* and turbidity ranged from 17.6 to 20.7°C, from 26.19 to 32.33 psu, from 0.76 to 7.13 $\mu\text{g L}^{-1}$, and from 0.51 to 14.49 FTU, respectively. A total of 51 species of phytoplankton belonging to 35 genera were identified. In particular, diatoms and dinoflagellates accounted for more than 56.8% and 27.4% of all the species, respectively. Moreover, the number of phytoplankton species was controlled by salinity. Phytoplankton cell density ranged from 2.9 cells mL^{-1} to 185.9 cells mL^{-1} . The dominant species were *Navicula* spp. *Stephanopyxis turris*, *Eutreptiella gymnastica* and *Mesodinium rubrum*. Environmental factors and the phytoplankton community varied greatly between sampling sites. According to PCA, the biological oceanographic characteristics of the around Jeju Island were characterized by meteorological factors such as air temperature, precipitation and discharge of ground water during early summer.

Key words : spatial distribution, environmental factors, phytoplankton community, Jeju Island, chlorophyll *a*, PCA, meteorological factors

서 론

연안생태계에서 식물플랑크톤은 태양에너지를 고정하여 에너지흐름을 출발시키는 기초생산자로서 해양의 물질순환

과 연안생태구조를 결정하는 주요한 인자가 된다(Street and Paytan 2005). 바다에서 식물플랑크톤의 성장은 해역에 따라 외부에서 공급되는 영양염류 농도는 물론, 식물플랑크톤 포식자인 동물플랑크톤 생물량, 빛, 해수유동 등 다양한 환경인자의 복합적인 작용에 의해 지배된다(Severiano *et al.* 2012). 때문에 해역에서 식물플랑크톤 군집 파악은 연안해

* Corresponding author: Yang Ho Yoon, Tel. 061-659-7142,
Fax. 061-659-7149, E-mail. yoonyh@jnu.ac.kr

역의 생태구조는 물론 해양 환경 특성을 이해하는 중요한 자료가 된다(Yoon 2014).

연구 대상인 제주도는 70만 년 이전 화산활동으로 만들어진 섬으로 전체 면적의 90% 이상은 현무암으로 구성되었고, 면적은 약 1,833 km²로 중앙의 한라산을 중심으로 완만한 경사를 이루어 동서 73 km, 남북 31 km의 타원형으로 258 km의 해안선을 가진다(위키백과, www.kr.wikipedia.org). 이러한 지질학적 특성으로 제주 하천 대부분은 건천으로 강우에 의해 일시적으로 해역으로 담수가 유입되는 특징을 나타낸다. 때문에 해안선 주변해역은 강우량, 기온, 계절풍과 같은 기상조건이나 해양상태에 따라서도 크게 영향을 받을 수 있는 조건을 갖추고 있다. 또한 제주 주변해역은 구로시오난류 지류인 쓰시마난류, 중국대륙연안수, 한국연안고유수 및 황해저층 냉수괴 등 다양한 수괴가 계절적으로 확산범위를 달리하여 영향을 미친다(Kim and Rho 1994). 그리고 제주도 해안선 주변 및 내륙에서는 많은 곳에서 지하수가 지표로 용출되고 있으며(Kim *et al.* 2011), 일부 연안에서는 용승 현상이 보고되기도 하여(Kang *et al.* 1996), 단조로운 해안선을 나타내지만 복잡한 해양 환경 특성을 나타낸다.

지금까지 이러한 제주 연안해역을 대상으로 수행된 식물플랑크톤 관련 연구는 비교적 다양한 해역을 대상으로 실시되어 있다. 즉 제주서부의 국가 시범바다모작 해역을 대상으로 한 식물플랑크톤 군집 및 크기별 엽록소에 관련된 연구(Affan *et al.* 2007; Yoon 2014a, 2015), 북부의 함덕연안을 대상으로 주 3회 이상의 표본을 분석한 결과(Yoon *et al.* 1990, 1992) 및 제주시 탐동, 제주항, 삼양발전소, 함덕연안을 대상으로 한 연구결과(Lee 1989; Lee *et al.* 1995, 1998; Lee and Shin 2000), 그리고 제주 서쪽 한림과 동쪽 성산 및 우도, 그리고 남쪽의 서귀포 주변해역에 대한 결과(Lee and Choa 1990; Lee *et al.* 1993; Choa and Lee 2000), 제주도 해안선 주변과 제주를 포함하는 남해, 동중국해 해역의 결과(Lee *et al.* 1990; Lee 2003; Yoon *et al.* 2003, 2005; Park *et al.* 2008; Jung *et al.* 2012), 와편모조류 출현종에 대한 결과(Kim *et al.* 2013), 그리고 제주 북서해역의 바다숲과 관련한 기초생산력 변동에 관한 결과(Kweon *et al.* 2015) 등이 있다. 그렇지만 전체 해안선을 대상으로 식물플랑크톤 군집조성이나 해양 환경을 조사 평가한 연구는 매우 제한적이다(Yoon *et al.* 1991).

이 연구는 제주도 해안선을 따라 위치하는 일부 소형 지방어항과 국가어항을 대상으로 이른 여름 한 번의 조사에 대한 내용이지만, 제주 천해역의 해양 환경 특성을 파악하는데 중요한 자료 제공을 할 수 있는 흥미로운 결과를 얻을 수 있었다. 때문에 기초해양 환경 및 식물플랑크톤 군집 차이에 의한 제주 천해역의 생물해양학적 특성 분석으로 제주 주변

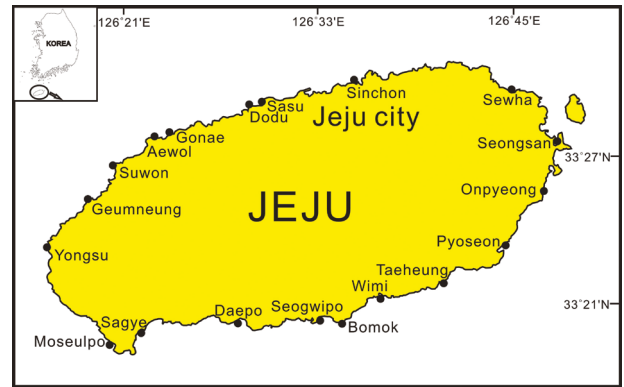


Fig. 1. Map of sampling sites around Jeju Island.

해역의 효율적 이용과 관리, 그리고 해양 환경보전을 위한 중요한 기초자료가 될 수 있을 것으로 판단하여 보고한다.

재료 및 방법

제주도 해안선을 따라 조성된 19개의 대·소 항만(어항)을 대상으로 2016년 6월 27일과 28일 양일간 현장조사를 실시하였다(Fig. 1). 표본 채집은 27일은 제주시에서 시계방향으로 보목항까지, 28일은 서귀포에서 제주시까지 조사를 실시하였고, 채집은 채수기를 이용하여 표층해수를 1,000 mL를 채수하여, 폴리에틸렌 표본병에 넣어 Lugol's 용액으로 최종농도가 2%가 되도록 현장에서 고정하였다. 고정된 해수는 실험실에서 최저 48시간 침전시켜 상등액을 제거하는 과정을 반복하여 최종농도가 10 mL가 되도록 농축하여 검경 시료로 하였다. 검경은 마이크로피펫을 이용하여 농축 시료 0.1~1.0 mL를 0.5 mm 간격의 봉선이 들어있는 계수판에 커버글라스를 하여 DIC가 장착된 광학현미경(Nikon, Eclipse TE300/ Nikon Eclipse 80i)을 사용하여 100X-400X 배율에서 종 동정과 계수를 실시하였다. 종 동정은 다양한 식물플랑크톤 도감(Cupp 1943; Dodge 1982; Chihara and Murano 1997; Tomas 1997; Hallegraeff *et al.* 2010; Omura *et al.* 2012) 및 최근의 분류문헌을 참고하였다. 또한 최근 식물플랑크톤의 분류체계는 매우 급격하게 변화되기에 객관성 확보를 위해 World Register of Marine Species (WoRMS, www.marinespecies.org)에 준하여 정리하였다.

식물플랑크톤 표본채집과 함께 현장의 기본적인 해양 환경 특성을 파악하기 위해 잠수형형광광도계(JFE Advantech Co., Ltd, ASTD 102)를 이용하여 표층해수의 수온, 염분, 탁도 및 Chlorophyll *a* (Chl-*a*) 농도를 측정하였다.

그리고 환경자료와 식물플랑크톤 우점종을 이용하여 주

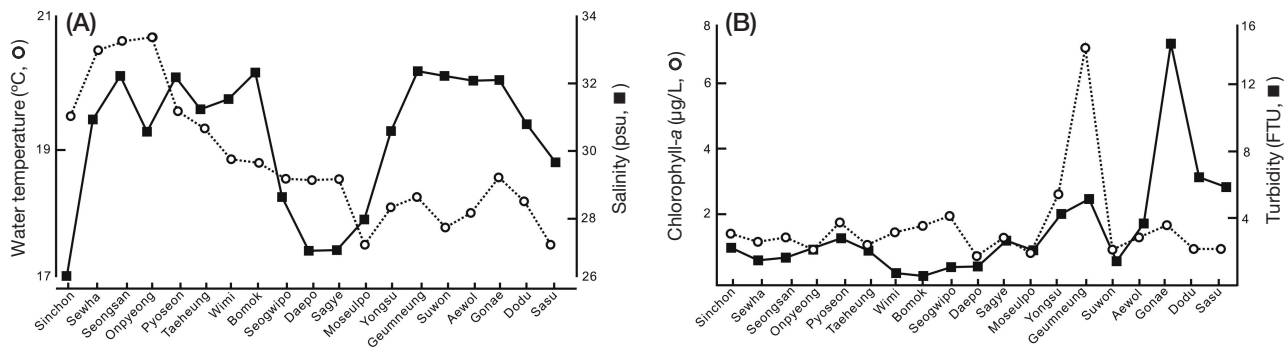


Fig. 2. Fluctuations of water temperature, salinity (A) and chlorophyll *a* concentration and turbidity (B) around Jeju Island.

성분분석을 실시하였다. 주성분분석은 SPSS 프로그램이 이용하여 누적기여율 70%를 기준으로 계산하였다(Yoon 2014b). 계산된 인자부하량으로 식물플랑크톤의 출현 특성을 해석하였고, 득점에 의해 해석특성을 파악하였다.

결 과

1. 해양 환경

1) 해양 환경 인자

6월 19개 항만에서 표층 수온은 제주 북쪽 제주시 서쪽 사수항에서 최저 17.6°C, 제주도 동쪽 성산포항에서 20.6°C 및 성산포 인근인 온평항에서 20.7°C를 나타내어 해역에 따른 수온 차가 비교적 크게 나타났다. 즉 제주 북동에서 동쪽 해안선에서는 상대적으로 높은 수온을 보이는 반면, 제주도 북서에서 남서쪽 해안선에 위치하는 정점에서 상대적으로 낮은 수온을 나타내었다(Fig. 2A). 염분 역시 제주 북동 해역인 신촌항에서 26.19 psu, 남쪽인 서귀포시 보목항에서 32.33 psu로 전체적으로 낮은 농도를 보이지만, 수온과 같이 해역에 따른 염분 차이가 크게 나타났다. 염분은 수온과는 달리 제주 북동해역에 위치하는 신촌 등 일부 항만과 제주 남쪽의 서귀포에서 서쪽에 위치하는 항만에서 낮은 농도를 나타내었다(Fig. 2A).

표층 Chl-*a* 농도는 염분 농도가 낮은 대포항에서 0.76 µg L⁻¹, 제주 서쪽 비양도 인근인 금능항에서 7.13 µg L⁻¹을 나타내어, 해역에 따른 변화 폭이 약 10배 정도로 큰 차이를 나타내었다. 그러나 제주 북서에서 서쪽에 위치하는 용수항과 금능항에서 극단적인 Chl-*a* 농도를 보이는 것을 제외하면 전체적으로는 약 2.0 µg L⁻¹ 이하의 균일한 Chl-*a* 농도를 보였다(Fig. 2B). 탁도 역시 남쪽 보목항에서 0.51 FTU (Formazine Turbidity Unit)에서 제주 북서쪽 애월읍 고내항에서 14.49 FTU로 다른 해양 환경 인자와 같이 해역에 따

Table 1. Species composition of the phytoplankton community around Jeju Island during the early summer of 2016

Taxonomic class	Common name	Species composition	
		Species numbers	Composition (%)
Cyanophyceae	Blue-green algae	1G 1S	2.0
Bacillariophyceae	Diatoms	20G 29S	56.8
Dinophyceae	Dinoflagellates	8G 14S	27.4
Chrysophyceae	Silicoflagellates	3G 4S	7.8
Raphidophyceae	Chloromonads	1G 1S	2.0
Euglenophyceae	Euglenoids	1G 1S	2.0
Litostomatea*	Ciliata	1G 1S	2.0
Total		35G 51S	100

G: genus or genera, S: species

른 차이가 크게 나타났다. 탁도 역시 전체적으로는 0.51~2.8 FTU 수준의 낮은 농도에서 변화하지만, 제주 북서해역에 위치하는 용수에서 제주시까지의 항만에서 상대적으로 높았으며, 특히 고내 및 도두, 사수 등 제주시에 인접한 항만에서 높았다(Fig. 2B).

2. 식물플랑크톤 군집

1) 종 조성

제주도 해안선 주변 19개 항만에서 이른 여름 출현한 식물플랑크톤 종은 전체 35속 51종으로 매우 단조로웠고, 분류군별로는 규조류가 20속 29종으로 56.8%, 와편모조류가 8속 14종으로 27.4%를 점유하는 이외에 규질편모조류, 남조류, 유글레나조류, 라피도조류 및 광합성 공생조를 가지는 섬모충이 출현하였다(Table 1). 다만 섬모충 *Mesodinium rubrum*은 원생동물에 속하지만, 공생조류에 의해 광합성으로 생활하는 종으로 연안해역의 주요 적조생물로 취급되고 있기에(Gustafson *et al.* 2000), 여기서는 식물플랑크톤 군집에 포함하여 정리하였다. 공간적으로는 용수항에서 가장 낮

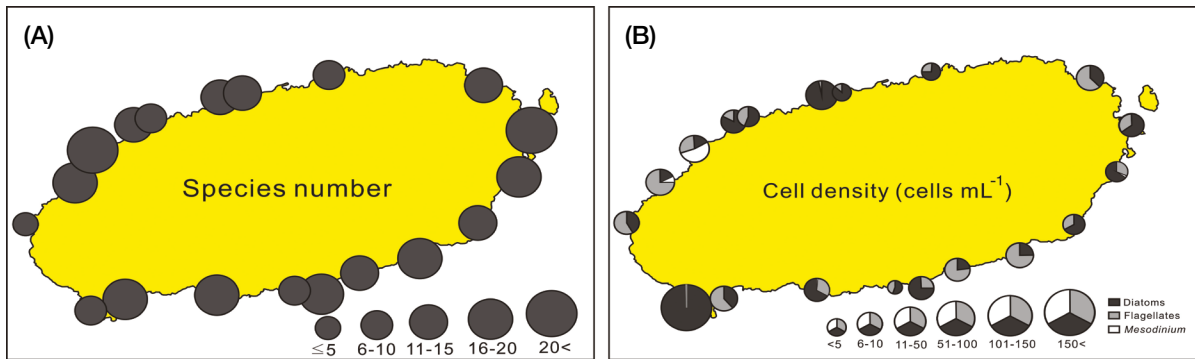


Fig. 3. Spatial distribution of phytoplankton species number (A) and phytoplankton cell density and the ratio of diatoms, phytoflagellates and *Mesodinium rubrum* (B).

은 5종이 출현하였으며, 수원항에서 가장 많은 22종이 출현하였으나, 해역에 따른 규칙성은 관찰되지 않았다(Fig. 3A 및 Appendix 1).

2) 현존량

식물플랑크톤 현존량은 서귀포항에서 2.9 cells mL⁻¹로 낮았고, 모슬포에서 185.9 cells mL⁻¹로 높았으나, 전체적으로 낮은 세포밀도로 해역에 따른 차이가 큰 특징을 보였다. 세부적으로는 10² cells mL⁻¹ 단위를 보이는 모슬포항을 제외하면, 대부분 10 cells mL⁻¹ 수준의 세포밀도로, 제주 북동해역인 신촌항, 남동해역인 서귀포항, 위미항, 표선항 및 온평항, 그리고 북서해역인 고대항 등에서 10 cells mL⁻¹ 이하의 낮은 세포밀도를 나타내었다(Fig. 3B). 분류군별로는 모슬포항 및 도두항에서는 구조류에 의한 출현율이 높은 반면, 제주 북서해역 및 남동해역에서는 전체 식물플랑크톤 세포밀도는 낮지만, 식물성 편모조류에 의한 점유율이 높았다. 특히 수원항은 전체 식물플랑크톤 세포밀도에서 약 53.0%가 공생조류를 가지는 섬모충인 *M. rubrum*에 의해 점유되는 이례적 현상을 나타내었다(Fig. 3B).

3) 우점종

이른 여름 제주 주변 포구의 식물플랑크톤 군집은 매우 낮은 세포밀도로 출현하고 있어 우점종에 대한 객관적인 설명은 쉽지 않다. 그렇지만 얻어진 자료에 근거하면, 전 정점에서 공통적으로 출현하는 우점종이 없이 해역에 따른 우점 출현종은 많은 차이를 보였다. 그러나 전체 항만의 평균 세포밀도로서 5% 이상 우점율로 출현하는 종은 우상구조인 *Navicula* spp.가 35.5%, 중심구조인 *Stephanopyxis turris*가 17.7%, 그리고 유글레나조류인 *Eutreptiella gymnastica*가 7.2%의 우점율을, 그리고 공생조를 가지는 섬모충인 *M. rubrum*이 4.8%의 우점율을 나타내었다(Table 2).

세부적으로 *Navicula* spp.는 북수종이기에 우점종으로 취

Table 2. Dominant species and dominance (%) of the phytoplankton community around Jeju Island during the early summer of 2016

Dominant species	
Species name	Dominance (%)
<i>Navicula</i> spp	35.3
<i>Stephanopyxis turris</i>	17.7
<i>Eutreptiella gymnastica</i>	7.2
<i>Mesodinium rubrum</i>	4.8

급하기는 다소 문제가 있으나, 대부분 항만에서 공통적으로 출현하였다. 특히 모슬포항과 용수항에서 각각 132.0 cells mL⁻¹와 3.6 cells mL⁻¹의 세포밀도로, 각각 71.0%와 29.0%의 우점율로 극우점하는 등 전체 항만에서 우점 출현하였다. *S. turris*는 모슬포항과 도두항에서 각각 32.8 cells mL⁻¹와 25.6 cells mL⁻¹의 세포밀도로 각각 20.6%와 52.2%의 우점율을 나타내었다. *S. turris*는 이외에도 신촌항, 세화항, 성산항, 사계항 및 용수항 등에서도 높은 우점율을 나타내었다. 식물성 편모조인 *E. gymnastica*는 태흥항, 위미항 및 용수항에서 각각 16.5 cells mL⁻¹, 3.3 cells mL⁻¹, 그리고 6.9 cells mL⁻¹의 세포밀도로 해당 항만에서 각 58.1%, 34.0% 및 55.6%의 우점율을 나타내었다. 그리고 *M. rubrum*은 제주 북서해역인 금능항과 수원항에서 각각 1.8 cells mL⁻¹와 19.6 cells mL⁻¹의 세포밀도로 각 7.0%와 53.0%의 우점율을 보였다. 기타 와편모조류인 *Karenia* sp.가 세화에서 4.7 cells mL⁻¹로 27.6%, 금능에서 6.4 cells mL⁻¹로 24.8%, 수원에서 4.8 cells mL⁻¹로 13.0%의 우점율을, *Prorocentrum triestinum*이 성산항, 사계항 및 금능항에서 각각 1.9 cells mL⁻¹, 1.6 cells mL⁻¹ 및 5.7 cells mL⁻¹의 세포밀도로 각 1.2%, 13.2% 및 22.1%의 우점율을 나타내었다(Table 2). 즉 이와 같이 제주 해안선 주변해역의 식물플랑크톤 군집은 해역에 따라 우점종에 많은 차이를 나타내었다.

Table 3. Eigen value, proportion, eigen vector and loading factor according to PCA of the dominant phytoplankton and environmental factors around Jeju Island during the early summer of 2016

Principal component	1st	2nd	3rd
Eigenvalue	3.764	3.563	1.976
Proportion (%)	26.9	25.5	14.1
Accumulative proportion (%)	26.9	52.3	66.4

Parameters (Abbreviation in Fig. 5)	Loading factor			Eigen vector		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
Water temperature (WT)	-0.504	-0.146	-0.034	-0.153	-0.025	0.006
Salinity (SAL)	-0.309	0.389	0.146	-0.087	0.099	-0.018
Turbidity (TUR)	0.000	-0.080	0.058	0.021	-0.048	-0.027
Chlorophyll <i>a</i> (Chl- <i>a</i>)	-0.095	-0.045	0.920	0.018	-0.137	0.411
Diatoms (DT)	0.661	0.600	0.078	0.179	0.151	0.006
Dinoflagellates (DF)	0.215	0.764	0.177	0.046	0.189	0.018
<i>Chaetoceros</i> spp. (Chap)	-0.248	0.833	0.081	-0.079	0.314	-0.081
<i>Eutreptiella gymnastica</i> (Egym)	-0.107	-0.008	-0.049	-0.052	-0.135	-0.013
<i>Karenia</i> sp. (Kasp)	-0.047	0.612	0.735	0.010	0.169	0.274
<i>Mesodinium rubrum</i> (Meru)	0.029	0.938	-0.045	-0.011	0.366	-0.120
<i>Navicula</i> spp. (Nasp)	0.963	-0.068	-0.061	0.279	-0.033	0.030
<i>Pleurosigma directum</i> (Pdir)	0.930	-0.062	-0.056	0.269	-0.028	0.032
<i>Prorocentrum triestinum</i> (Ptri)	-0.055	0.049	0.973	0.030	-0.080	0.436
<i>Stephanopyxis turris</i> (Stur)	0.882	-0.096	-0.127	0.258	-0.024	-0.013

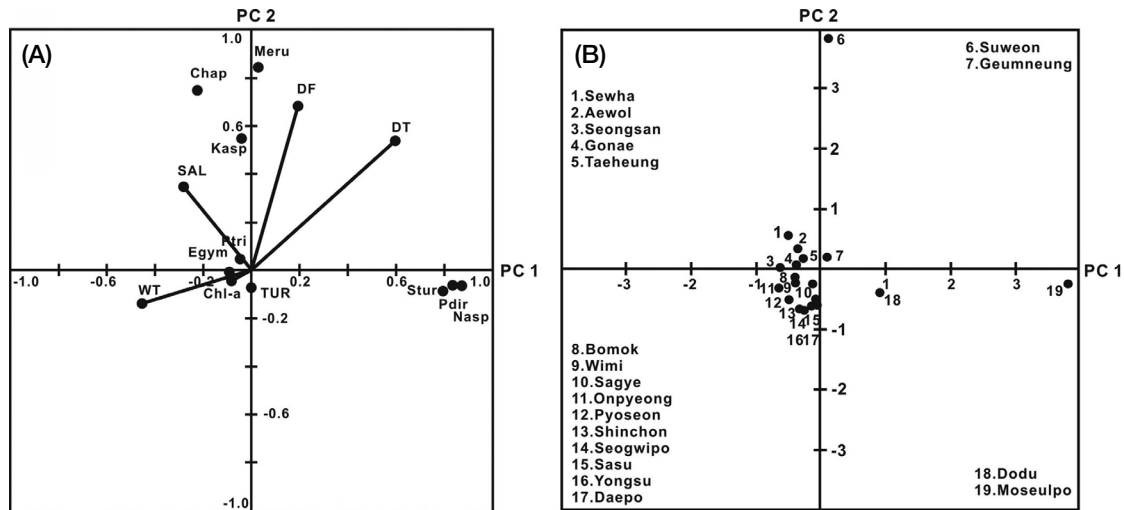


Fig. 4. Distribution of loading factor (A) and score (B) according to principal component analysis (PCA) on the environmental factors and dominant species of phytoplankton.

4) 식물플랑크톤 군집의 분포 특성

전체 정점 평균으로 1% 이상을 나타내는 우점종과 분류군, 그리고 수온, 염분, 탁도 및 Chl-*a* 농도를 이용한 주 성분분석을 누적기여율 70%로 계산하면 $Z=3.764Z_1 + 3.563Z_2 + 1.976Z_3$ 가 되어 제4주성분까지 누적기여율은 66.4%를 나타내었다 (Table 3). 생물종을 이용한 주 성분분석에서는 도출된 각 주성분에 대한 특성값을 도출하기는 어렵다. 또한 주 성분분석결과 제1 및 제2주성분의 고유값과 기여

율에서 차이가 크지 않기에 여기서는 편의상 제2주성분, 즉 누적기여율 52.3%까지를 대상으로 해석하였다. 그러나 제1 및 제2주성분의 기여율은 각 26.9%와 25.5%로 거의 차이가 없었다.

인자부하량에서 제1주성분은 우점 규조류 3종과 전체 규조류에 강한 양의 관계를 보이는 반면, 수온과 염분에는 음의 관계를 보이는 것에서 제1주성분은 규조류의 출현특성을 결정하는 특성값으로 해석할 수 있다. 제2주성분은 섬모충인

Table 4. Variations in maximum air temperature and precipitation at several meteorological stations around Jeju Island.

Direction	Meteorological stations	Air temperature (°C)		Precipitation (mm)	
		2 days	10 days	2 days	10 days
North	Jeju	24.8	29.7	6.7	88.1
North-east	Weoljeong	24.6	26.2	7.0	115.0
	Guzoa	25.0	26.6	10.5	116.5
North-west	Hallim	23.2	26.3	24.0	108.0
	Gosan	21.5	24.3	49.5	132.9
South	Seogwipo	25.0	25.5	18.6	184.9
South-east	Pyoseon	26.8	26.0	0	158.5
	Namweon	24.8	25.5	20.0	203.0
South-west	Udo	23.2	25.1	10.5	113.5
	Jungmoon	21.6	24.9	42.0	256.5
	Moseulpo	21.5	24.9	47.5	209.0

*M. rubrum*과 와편모조류 *Karenia* sp, 그리고 전체 와편모조류에 강한 양의 관계를 보이는 반면, 약하지만 우점 규조류와 수온에는 음의 관계를 보이는 것으로 섬모충과 와편모조류 출현특성을 나타내는 특성값으로 판단되었다(Fig. 4A). 또한 주성분에 대한 인자부하량 분포에서 이른 여름 제주 해안선 주변 천해역에서 낮은 수온에서 규조류가 우점하고 있으며, 높은 염분을 나타내는 해역에서 편모조류나 공생조를 가지는 섬모충이 우점하였다. 그리고 Chl-*a* 농도와 규조류, 와편모조류, 기타 우점종 및 환경인자 사이의 기하학적 위치로부터, Chl-*a* 농도에 대해 규조류는 반대 방향의 음의 관계를, 수온과 *E. gymnastica*, *P. triestinum* 사이는 강한 양의 관계에서 규조류보다는 식물성 편모조류에 의해 Chl-*a* 농도가 지배되는 것을 알 수 있었다. 또한 염분은 규조류와 관련성이 희박하고, 와편모조류와는 관련성이 높은 것으로 나타났다. 다만, 복수의 종으로 구성된 *Chaetoceros* spp.의 경우는 다른 우점 규조류와는 달리, 섬모충이나 와편모조류와 유사한 출현 특성을 보였다(Fig. 4A).

주성분분석에 의한 득점분포에서는 제1주성분, 즉 규조류에 지배되는 해역은 우상규조 *Navicula* spp.에 극우점하는 모슬포항과 *S. turris*에 극우점되는 도두항, 그리고 제2주성분에는 *M. rubrum*에 의해 극우점되는 수원항 등 3개 정점은 다른 항만과는 다른 특성을 나타내었다. 기타의 정점은 특정종에 우점되지 않고, 식물성 편모조류 및 Chl-*a* 농도, 수온 등으로 특성지을 수 있는 유사성으로 집중화되어 분포하는 특성을 보였다(Fig. 4B).

고 찰

제주 해안선 주변해역의 해역에 따른 수온과 염분 차이는 무엇 때문에 발생하는 것일까? Table 4에 제주 해안선 주변

에 위치하는 기상관측소 자료(KMA, kma.go.kr)를 이용하여, 조사 당일을 포함하여 2일 평균 최고기온과 10일 최고기온의 평균값, 그리고 2일 강우량과 10일 강우량의 합을 정리하여 나타내었다. 표에서 제주 북부의 제주시와 남부의 서귀포를 기준으로 동쪽 해안은 25°C 전후의 높은 기온을 보이지만, 서쪽은 21~23°C로 낮은 기온을 보여, 수온이 기온에 크게 지배되는 것으로 나타내었다(Table 4). 염분도 수온과 같이 낮은 염분을 나타내는 서귀포에서 고산까지의 남서해안에서 조사 당일을 포함한 2일간의 강우량이 20 mm 이상에서 50 mm 전후를 보이는 반면, 상대적으로 높은 염분을 보이는 해역에서는 10 mm 이하의 낮은 강우량을 보이는 것에서 염분은 강우량에 지배되는 것으로 나타났다(Table 4). 즉 제주해역은 지질학적 특성으로 육지부에 내린 강우량은 바로 해안으로 유출되는 특성을 나타내는 것을 시사하는 내용이다. 때문에 10일간의 강수량과 염분 사이에는 관련성이 확인되지 않았다.

이러한 결과는 제주 해안 천해역의 해양 환경 및 생물생산은 제주에 크게 영향을 주는 쓰시마난류, 중국대륙연안수 및 황해저층 냉수괴와 같은 수괴보다도 제주지역의 기온과 강우량 등 기상인자에 매우 민감하게 반응하는 것으로 판단할 수 있었다. 제주에서 이러한 천해역의 해양 환경과 기상과의 인과관계를 설명한 연구보고는 아직까지 발견되지 않는다. 그러나 최근 거의 매년 여름 제주 서·남부해역을 중심으로 해안선까지 확장되는 중국대륙연안수(Kim *et al.* 1998; Kim *et al.* 2013)에 의한 저염현상과 이른 여름 제주 천해역에서 관찰되는 저염수는 서로 다른 원인에 의해 발생하는 것이라 할 수 있다. 다만 제주 북동부의 신촌의 경우는 낮은 강우량에도 불구하고 낮은 염분을 나타내는 것은 항만과 연결된 육상부에서 배출되는 용천수의 영향으로 판단되었다. 즉 최근 제주도는 물론 다양한 해역에서 연안에 유출되는 지하수가 주변해역의 생물생산이나 해양 환경에 커다란 영

향을 미치는 것이 보고된다(Hwang *et al.* 2005; Sugimoto *et al.* 2016). 때문에 제주에서 해안선을 따라 다량의 지하수가 용출되는 천해역은 이들 용천수에 의한 해양 환경 및 생물 생산의 영향이 클 것으로 판단된다(Kim *et al.* 2011; Lee and Kim 2015).

또한 최고 Chl-*a* 농도가 식물플랑크톤 세포밀도를 높은 모슬포항보다 금능항에서 보이는 것은 모슬포항에 우점한 규조류보다 금능항에 우점한 와편모조류, *Karenia* sp. 및 *P. triestinum*에서 상대적으로 세포내 Chl-*a* 함유량이 높기 때문이다(Honjo *et al.* 1978; Yoon *et al.* 1992). 제주연안은 청정해역으로 대부분 해역이 투명한 수질조건을 나타낸다. 그러나 고내항에서 높은 탁도를 보이는 것에 대해, 현장 조사에서 고내항은 낮은 수심이지만 시간적으로 해저를 확인할 수 있는 맑은 투명도를 나타내었다. 그러나 현미경 시료의 제작과 검경에서는 쉽게 침전되지 않는 우유빛 현탁물과 막상으로 보이는 현탁물이 슬라이드 글라스 위를 덮고 있는 것이 현미경으로 관찰되었지만, 미세한 형태의 현탁물이라는 것 이외에는 원인물질을 명확하게 규명하지는 못하였다.

이른 여름 제주 해안주변 천해역에 출현한 식물플랑크톤 종은 35속 51종은 매우 낮았다. 제주 주변해역에서 수행된 기존 연구에서 제주 동쪽 성산포 및 우도해역은 85종(Lee and Choa 1990) 및 89종(Lee *et al.* 1993), 서쪽의 시범바다목장 해역은 104종(Yoon 2015) 및 294종(Affan *et al.* 2007), 한림연안은 112종(Lee and Choa 1990), 그리고 북쪽 제주항 및 주변해역은 171종(Lee and Shin 2000), 탐동 연안은 123종(Lee 1989), 함덕연안은 120종(Yoon *et al.* 1992) 및 132종(Lee *et al.* 1995), 그리고 제주 해안선의 복수 정점을 대상으로 한 결과는 245종(Lee *et al.* 1990)으로 모두가 이 연구의 결과보다 많은 종이 출현하였다. 또한 기타해역에서도 한국 서해 하구역이나 내만해역은 200종 이상(Shin 2013), 남해역은 100종 전 후가 출현하는 것(Yoon 2011) 등과 비교하여도 낮은 수준이다. 식물플랑크톤 군집을 구성하는 종 출현은 해역과 연구자에 따라 많은 차이를 보이며(Yoon 2015), 기존 연구가 대부분 계절조사 결과인 것에 반해 이 연구는 한 계절을 대상으로 하고 있어 동일 기준에서 비교하기가 어렵다고 하여도 해역별 환경특성이 다른 것을 고려하면 이 연구에서 식물플랑크톤 출현 종은 매우 단순하다. 무엇이 이렇게 단순한 종조성을 나타내게 하였을까? Fig. 5는 조사 포구의 염분과 출현 종수의 관계를 회귀식으로 표현한 것이다. 이 자료에는 극단적으로 낮은 출현종을 보였던 용수항, 원인을 알 수 없는 부유물질을 보였던 고내항 및 이중 방파제에 의해 폐쇄성이 강했던 사계항과 대포항을 제외하고 15개 항만을 대상으로 하였다. 그림에서 식물플랑크톤 출현 종수는 염분농도와 밀접한 비례관계를 나타내고 있다. 이는 표

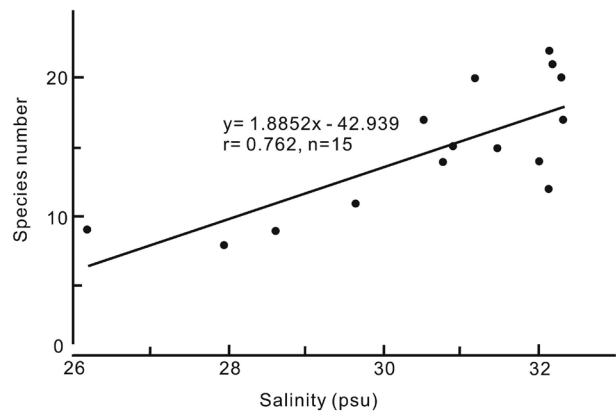


Fig. 5. Regression equations between phytoplankton species number and salinity.

본채집 당일을 포함한 2일간의 강우량 및 지하수 유입으로 표층해수가 담수에 의해 희석되어 식물플랑크톤 군집에 영향을 준 것으로 해석할 수 있다. 이러한 결과는 제주 천해역은 육상의 강우량 및 지하수 등 단기적인 환경변화에 쉽게 영향을 받아, 식물플랑크톤 군집은 물론, 생산성에까지 영향을 미치는 것으로 추정되었다. 제주 북서해역의 바다숲과 관련한 식물플랑크톤 군집조사에서도 유사한 결과를 얻고 있다(Yoon *et al.* unpublished data). 아울러 일부 해역을 제외하고 와편모조류 등 식물성 편모조류가 다양하게 출현하는 것은 제주도 인근해역(Yoon *et al.* 1990, 1992; Lee and Shin 2000)은 물론 우리나라 연안(Choi and Shim 1986; Yoon 2011; Shin 2013)과 중위도해역에서 일반적인 현상(Parsons *et al.* 1984)이라 할 수 있었다.

식물플랑크톤 세포밀도의 변동범위인 2.9~185.9 cells mL⁻¹는 연안해역의 농도로는 낮은 값이다. 그러나 제주 시범바다목장 해역의 0.6~36.4 cells mL⁻¹(Yoon 2015), 함덕연안의 7.1~73.0 cells mL⁻¹(Yoon *et al.* 1992)보다는 높았다. 그러나 제주 해역에서 보고된 최대 세포밀도는 제주항의 3.1 × 10⁴ cells mL⁻¹(Lee and Shin 2000) 및 바다목장 해역에서 가까운 한림항의 1.2 × 10⁴ cells mL⁻¹(Lee and Choa 1990) 등 폐쇄성이 강한 항만 등에서는 부영양화된 연안/내만해역의 세포밀도 수준으로 출현하였다(Iizuka 1985). 일반적으로 제주해역의 개방된 천해역의 최대 세포밀도는 10²~10³ cells mL⁻¹ 수준이며(Yoon 1993), 2005년 제주 시범바다목장에서도 22.1~486.9 cells mL⁻¹로 출현하였다(Affan *et al.* 2007). 그러나 2008년 제주 바다목장 해역에서 세포밀도는 0.6~36 cells mL⁻¹로 최대, 최소 모두에서 한 단위 낮은 농도였다. 전국 연안에서도 비교적 영양염류가 풍부한 남해 및 서해의 최저 세포밀도는 1 cells mL⁻¹ 수준이지만 제주와 유사한 빈영양 상태를 보이는 동해는 0.1 cells mL⁻¹ 수준

의 세포밀도가 보고된다(Choi 2011). 이러한 기존 연구에 비해 제주 해안선 주변의 식물플랑크톤 세포밀도는 일부 해역보다 높다하여도, 절대값으로 낮은 세포밀도를 보였다. 이와 같은 현상은 출현 중수에서 육상에서 유입되는 담수에 의해 희석된 결과이기도 하지만, Yoon *et al.* (unpublish data)은 2014년 가을 제주 바다목장 인근에 위치하는 북서해역의 3개 해역에서 바다 숲 조성 및 자연 해중림, 갯녹음 지역 등에 대한 집중적인 식물플랑크톤 군집 조사에서 제주 천해역은 단기간에 식물플랑크톤 출현 세포밀도의 시·공간 변화가 $0.1 \sim 10^5$ cells mL⁻¹ 범위로 극단적인 변동을 보이는 것을 관찰하였다. 이러한 현상은 제주의 육상부 하천은 대부분 건천으로 해양으로 유출되는 하천 등이 존재하지 않아, 강우 등에 의해서만 간헐적으로 영양염류가 천해역으로 공급되는 영양염류 불균형(Affan *et al.* 2007) 및 연안생태계의 물질순환에 따른 재생산 의존비율이 큰 환경에 식물플랑크톤 군집이 반응한 결과, 외부의 환경자극이나 영양염류의 유입시 급격한 세포분열에 의한 소형종에 의한 군집 구성(Curl and Mcleod 1961; Yoon 2015)으로 조사시점과 해역에 따른 세포밀도 차이가 크게 나타나는 것으로 판단되었다.

제주 천해역의 일부 해역의 우점종으로 연안 및 내만에서 범세계적으로 적조를 발생시키고 은편모조를 공생조로 가지는 섬모충인 *M. rubrum*가 출현하는 것(Yih *et al.* 2013)은 다소 이례적 내용이다. 기타 *Navicula* spp., *S. turris*와 같은 우점종도 한국 연안해역에서 우점종으로 출현하는 예는 흔치않다(Choi 2011). 그러나 이와 같이 한국 연안해역과 다른 우점종을 보이는 것은 제주 바다목장 해역에서 외편모조, *Torodinium teredo*, *Triplos teres*, 규질편모조, *Ebria tripartita*, *Dictyocha fibula*, 그리고 규조, *Corethron pennatum*에 의한 우점(Yoon 2015) 등에서 보면 이례적인 내용으로만 판단할 수 없다. 짧은 기간에 외부 인자에 의해 쉽게 변화되는 제주 천해역의 식물플랑크톤 군집에서 관찰되는 사례로 보는 것이 타당할 것이다(Yoon *et al.* 1992; Yoon 2015). 그러나 제주연안은 쓰시마난류의 영향을 강하게 받고 있는 해역으로 늦봄에서 가을까지는 유글레나조류인 *Eutreptiella*, 침편모조류인 *Heterosigma akashiwo*, 외편모조류인 *Gyrodinium*, *Karenia*, *Prorocentrum*, *Triplos* 속에 의한 우점 현상은 보고된다(Yoon *et al.* 1992; Yoon 1993, 2015; Affan *et al.* 2007), 그리고 규조의 *Chaetoceros socialis* 및 *S. costatum*에 의해 일부 항내에서는 극우점하는 현상이 보고된다(Lee and Choa 1990). 그러나 아직도 일부 적조원인 종 등을 제외하면 식물플랑크톤 종별 생리·생태적 특성이 명확하지 않은 종이 많아 우점종에 대한 세부적 특성을 명확하게 하지는 못하였다.

이러한 결과로부터 제주주변 천해역의 식물플랑크톤 군집

은 제주에 영향을 주는 쓰시마난류 등 다양한 수괴의 영향은 물론(Lee *et al.* 1990), 육지부의 기온, 강수량 등의 기상인자와 함께 해안선으로 직접 유입되는 지하수의 영향도 크게 받는 것을 알 수 있었다. 이는 제주 주변 천해역의 식물플랑크톤 군집은 단기적인 외부의 영양염류 공급에 민감하게 반응을 하고 있을 뿐만 아니라(Yoon 2015), 지속적 담수유입이 없을 때에는 생태계의 물질순환에 의한 재생산에 의존하는 부분도 크다는 결과(Cermeno *et al.* 2006; Jyothibabu *et al.* 2006; Yoon 2015)는 물론, 소형플랑크톤에 의해 단기간에 식물플랑크톤 군집의 변화가 크게 나타나는 원인으로 판단되었다(Yoon *et al.* 1992 and unpublish data).

적 요

제주 해안선의 19개 항만을 대상으로 2016년 6월 제주 천해역의 해황과 식물플랑크톤 군집의 차이를 파악하였다. 결과 수온은 17.6~20.7°C, 염분은 26.19~32.33 psu, Chl-*a* 농도는 0.76~7.13 µg L⁻¹ 그리고 탁도는 0.51~14.49 FTU의 범위에서 변동하였다. 식물플랑크톤 군집도 출현이 확인된 종은 35속 51종으로 단조롭고, 분류군별로는 규조류가 56.8%, 외편모조류가 27.4%를 차지하였다. 그러나 정점별 출현종은 5~22종으로 염분에 의해 지배되었다. 세포밀도 2.9~185.9 cells mL⁻¹로 변화하여, 환경인자 및 식물플랑크톤 군집 모두 해역별 차이가 큰 특징을 보였다. 우점종은 전체로는 *Navicula* spp., *Strphanopyxis turris*, *Eutreptiella gymnastica*, *Mesodinium rubrum*이 5% 이상의 우점율을 보이지만, 해역별로는 전체와는 다른 양상으로 우점종에서도 많은 차이를 보였다. 그리고 주성분분석에 의한 제주해안선 주변해역의 식물플랑크톤 군집에서 Chl-*a* 농도는 규조류보다 식물성 편모조류에 의해 지배되었고, 규조류는 염분에 크게 지배되지 않지만, 출현종 및 식물성 편모조류는 염분과 밀접한 관련성을 보였다. 즉 이러한 결과는 이른 여름 제주 해안선 주변해역의 식물플랑크톤 군집은 쓰시마난류, 양자강희석수 등 대형 수괴보다도 육지부의 기온, 강수량 등의 기상인자와 함께 해안으로 직접 유입되는 지하수에 의해 기초생산이 지배되는 것을 시사하는 것으로 판단되었다.

사 사

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2013005394) 및 2016년도 전남대학교 학술연구비(과제번

호, 2015-2548)에 의해 수행된 결과이다.

REFERENCES

- Affan A, B Lee, JT Kim, YC Choi, JM Kim and JG Myoung. 2007. Seasonal dynamics of phytoplankton and environmental factors around the Chagwi-do off the west coast of Jeju Island. *Korea. Ocean Sci. J.* 42:117-127.
- Cermeno P, E Maranon, V Perez, P Serret, E Fernandez and CG Castr. 2006. Phytoplankton size structure and primary production in highly dynamic coastal ecosystem (Ria de Vigo, NW-Spain): Seasonal and short-time scale variability. *Est. Coast. Shelf Sci.* 67:251-266.
- Chihara M and M Murano (eds). 1997. *An Illustrated Guide to Marine Plankton in Japan*. Tokai University Press. Tokyo 1574pp.
- Choa JH and JB Lee. 2000. Bioecological characteristics of coral habitats around Moonsom, Cheju Island, Korea I. Environment properties and community structures of phytoplankton. 『The Sea』 *J. Korean Soc. Oceanogr.* 5:59-69.
- Choi JK (ed). 2011. *The Plankton Ecology of Korean Coastal Waters*, Donghwa Tech. Publ. Co., Seoul 472pp.
- Choi JK and JH Shim. 1986. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. III. Phytoplankton composition, standing crops, tychopelagic plankton. *J. Oceanol, Soc. Korea* 21:156-170.
- Cupp EE. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of north America. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr., Univ. California* 5:1-237.
- Curl H Jr and GC Mcleod. 1961. The physiological ecology of marine diatom, *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve. *J. Mar. Res.* 19:70-88.
- Dodge JD. 1982. *Marine dinoflagellates of the British Isles*. Her Majesty's Office, London 303pp.
- Gustafson DE Jr, DK Stoecker, MD Johnson, WF Van Heulekem and K Sneider. 2000. Cryptophyte algae are robbed of their organelles by the marine ciliate *Mesodinium rubrum*. *Nature* 405:1049-1052.
- Hallegraeff GM, CJS Bolch, DRA Hill, L Jameson, JM LeRoi, A McMinn, S Murray, MF de Salas and K Saunders. 2010. *Algae of Australia, Phytoplankton of Temperate Coastal Waters*. CSIRO Publishing. Melbourne 421pp.
- Honjo T, T Shimouse and T Hanaoka. 1978. A red tide occurred at the Hakozaki fishing port, Hakata bay in 1973 - The growth process and the chlorophyll content-. *Bull. Plankton Soc. Japan* 25:7-21.
- Hwang DW, YW Lee and G Kim. 2005. Large submarine groundwater discharge and benthic eutrophication in Bangdu Bay on volcanic Jeju Island, Korea. *Limnol. Oceanogr.* 50:1393-1403.
- Iizuka S. 1985. The results of a survey of maximum densities in cell number of phytoplankton in coastal waters of Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan* 32:67-72.
- Jung SW, JG Park, DH Jeong and D Lim. 2012. Seasonal changes in water masses and phytoplankton communities in the western part of South coastal waters, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 30:328-338.
- Jyothibabu R, NV Madhu, KV Jayalakshmi, KK Balachandran, CA Shiyas, GD Martin and KKC Nair. 2006. Impact of fresh water influx on microzooplankton mediated food web in a tropical estuary (Cochin backwaters-India). *Est. Coast. Shelf Sci.* 69:505-518.
- Kang TY, YC Choi and YB Go. 1996. Bioecological studies in the upwelling area of Cheju Island. I. Upwelling phenomenon and chemical properties of seawater in the southwestern coastal area of Cheju Island. *J. Korean Fish. Soc.* 29:603-613.
- Kim G, JS Kim and DW Hwang. 2011. Submarine groundwater discharge from oceanic islands standing in oligotrophic oceans: Implications for global biological production and organic carbon fluxes. *Limnol. Oceanogr.* 56:673-682.
- Kim HS, SH Kim, MM Jung and JB Lee. 2013. New record of dinoflagellates around Jeju Island, *J. Ecol. Environ.* 36:273-291.
- Kim IO and HG Rho. 1994. A study on China coastal water appeared in the neighbouring sea of Cheju Island. *Bull. Korean Fish. Soc.* 27:515-528.
- Kim J, TH Bok, DG Paeng, IC Pang and C Lee. 2013. Acoustic channel formation and sound speed variation by low-salinity water in the western Sea of Jeju during summer. *J. Acous. Soc. Korea* 32:1-13.
- Kim SS, WJ Go, YJ Jo, PY Lee and KA Jeon. 1998. Low salinity anomaly and nutrient distribution at surface waters of the South Sea of Korea during summer. 『The Sea』 *J. Korean Soc. Oceanogr.* 3:165-169.
- KMA (Korea Meteorological Administration), kma.go.kr
- Kwon HK, HS Yang, YH Yoon, OI Choi, IH Choi and SJ Oh. 2015. Characteristics of marine environment and primary productivity of phytoplankton in the seaweed bed of north-western coast of Jeju Island during autumn 2014. 『The Sea』 *J. Korean Soc. Oceanogr.* 20:180-191.
- Lee J and G Kim. 2015. Dependence of pH in coastal waters on the adsorption of protons onto sediment minerals. *Limnol. Oceanogr.* 60:831-839.
- Lee JB. 1989. Species composition and dynamics of phytoplankton community at Top-dong coastal area in the northern part of Cheju Island. *Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ.* 13:35-45.

- Lee JB. 2003. Spatial distribution of phytoplankton in the southwestern Sea of Korea in spring. *Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ.* 27:15-20.
- Lee JB and JH Choa. 1990. The dynamics of phytoplankton communities at Hanrim and Songsan harbor of Cheju Island, Korea. *Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ.* 19:9-24.
- Lee JB, JH Choa, YB Go and YC Choi. 1993. Bioecological studies of the eastern coastal area in Cheju Island (II) Phytoplankton dynamics and primary productivity around U-do. *J. Korean Earth Sci. Soc.* 14:458-466.
- Lee JB, YB Go and JH Choa. 1990. The structure and dynamics of phytoplankton communities around the coastline of Cheju Island, Korea. *Korean J. Phycol.* 5:159-171.
- Lee JB, HB Koh, YB Go and YC Choi. 1995. Bioecological studies of the northern coastal area in Cheju Island - Phytoplankton dynamics and primary productivity at Hamduk-area. *Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ.* 19:103-113.
- Lee JB, MH Lee and DW Kang. 1998. Phytoplankton community dynamics and primary productivity around Samyang terminal power plant in the northern Cheju, Korea. *Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ.* 22:133-148.
- Lee JB and B Shin. 2000. Seasonal variation of phytoplankton around Jeju harbor. *Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ.* 24:79-85.
- Omura T, M Iwataki, VM Borja, H Takayama and Y Fukuyo. 2012. *Marine Phytoplankton of the Western Pacific*. Kouseisha Kouseikaku. Tokyo 160pp.
- Park MO, SW Kang, CL Lee, TS Choi and F Lantoine. 2008. Structure of the phytoplanktonic communities in Jeju Strait and northern East China Sea and dinoflagellate blooms in spring 2004: analysis of photosynthetic pigments. 「The Sea」 *J. Korean Soc. Oceanogr.* 13:27-41.
- Parsons TR, M Takahashi and B Hargrave. 1984. *Biological oceanographic processes* (3rd ed.). Pergamon Press. Oxford 330pp.
- Severiano JdS, AdN Moura, EMdM Magalhães and VLdS Almeida. 2012. Study about top-down and bottom-up controls in regulating the phytoplankton biomass in a eutrophic reservoir in northeastern Brazil. *J. Water Res. Prot.* 4:616-621.
- Shin YK. 2013. A ecological study of phytoplankton community in the Geum river estuary. *Korean J. Ecol. Environ.* 46:524-540.
- Street JH and A Paytan. 2005. Iron, phytoplankton growth, and the carbon cycle. *Met. Ions Biol. Syst.* 43:153-193.
- Sugimoto R, H Honda, S Kobayashi, Y Takao, D Tahara, O Tominaga and M Taniguchi. 2016. Seasonal changes in submarine groundwater discharge and associated nutrient transport into a tideless semi-enclosed embayment (Obama Bay, Japan). *Est. Coasts* 39:13-26.
- Tomas CR (ed). 1997. *Identifying marine diatoms and dinoflagellates*. Academic Press. Oxford 858pp.
- Yih W, HS Kim, G Myung, JW Park, YD Yoo and HJ Jeong. 2013. The red-tide ciliate *Mesodinium rubrum* in Korean coastal waters. *Harmful Algae* 30:S53-S61.
- Yoon YH. 1993. Seasonal changes of phytoplankton communities and primary production in Cheju coastal waters, Southern Korea. *Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ.* 17:33-56.
- Yoon YH. 2011. Marine environment and phytoplankton community in the southwest sea of Korea. pp. 68-93. In *The Plankton Ecology of Korean Coastal Waters* (Choi JK (ed). Donghwa Tech. Publ. Co., Seoul.
- Yoon YH. 2014a. Spatio-temporal variability and size fractionation of chlorophyll a in the Jeju Marine Ranching Area (JMRA) with special reference to the signification of nanoplankton. *J. Korea Acad.-Indust. Coop. Soc. (KAIS)* 15:6388-6398.
- Yoon YH. 2014b. Spatio-temporal distribution of phytoplankton community in the Jangsu Bay and adjoining sea of South Sea, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 32:75-87.
- Yoon YH. 2015. Spatio-temporal variability of phytoplankton community in the Jeju marine ranching area (JMRA). *J. Korea Acad. -Indust. Coop. Soc. (KAIS)* 16:7761-7772.
- Yoon YH, JS Park, HY Soh and DJ Hwang, 2003. Spatial distribution of phytoplankton community and red tide of dinoflagellate, *Prorocentrum donghaiense* in the China Sea during early summer. *Korean J. Environ. Biol.* 21:132-141.
- Yoon YH, JS Park, HY Soh and DJ Hwang, 2005. On the marine environment and distribution of phytoplankton community in the Northwen East China Sea in early summer 2004. *J. Korean Soc. Mar. Environ, Eng.* 8:100-110.
- Yoon YH, HG Rho and YG Kim. 1990. Variable of naked phytoflagellates in the coastal waters of Hamdok, northern Cheju Island during spring and summer. *Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ.* 14:1-8.
- Yoon YH, HG Rho and YG Kim. 1991. Red tide organisms in the coastal waters of Cheju Island, Southern Korea. *Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ.* 15:1-14.
- Yoon YH, HG Rho and YK Kim. 1992. Seasonal succession of phytoplankton population in the Hamdok port, Northern Cheju Island. *Bull. Mar. Sci. Inst., Cheju Nat'l Univ.* 16:27-42.

Received: 8 November 2016

Revised: 30 November 2016

Revision accepted: 2 December 2016

Appendix 1. Species composition and cell density at each sampling station in the early summer of 2016

Species name	June 27~28, 2016 (Jeju Cotal Waters, Surface)																		
	Shincheon	Sewha	Ojo	Onpyeong	Pyoseon	Taehung	Wimi	Bomok	Seogwipo	Daepo	Sagye	Moseulpo	Yongsu	Geumneung	Suweon	Aeweol	Gonae	Dotu	Sasu
DIATOMS	3,100	6,400	7,700	5,200	4,200	7,000	2,200	7,400	1,600	6,900	4,700	185,600	5,200	4,600	6,500	10,000	4,600	47,400	3,900
<i>Achnanthes longipes</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bacillaria paxillifera</i>	-	-	-	-	-	1200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Campylostris cymbelliformis</i>	400	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chaetoceros affinis</i>	-	-	300	-	-	-	200	400	-	-	-	-	-	600	800	-	-	-	-
<i>Ch. curvisetus</i>	-	-	300	-	1000	400	-	600	-	-	-	-	-	-	-	400	-	1400	-
<i>Ch. danicus</i>	-	-	-	-	-	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ch. didymus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	300	-	-	-	300	-	-	-	-
<i>Chaetoceros</i> spp.	200	1000	700	300	-	600	400	400	200	-	500	-	-	700	1800	1200	1100	-	100
<i>Cylindrotheca closterium</i>	-	100	-	-	-	-	-	100	-	200	200	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gyrodinium</i> sp.	-	-	100	-	-	600	-	1700	-	100	-	4500	-	-	-	-	-	-	-
<i>Licmophora</i> sp.	-	100	100	100	-	100	-	-	-	600	100	-	-	300	400	-	-	-	-
<i>Melosira</i> sp. cf. <i>sphaerica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1600
<i>Navicula</i> spp.	100	1400	400	400	200	1100	300	400	200	1000	1400	132000	3600	300	200	1600	400	16500	400
<i>Nitzschia longissima</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200	-	-	100	100	-	-	-	-
<i>N. sigma</i>	-	-	-	-	-	-	100	100	-	-	200	-	-	100	-	-	-	100	-
<i>Paralitis sulcata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1000	-	-	-
<i>Plagiogrammopsis vanheurnkii</i>	-	100	-	200	-	-	-	-	-	-	-	2800	-	-	400	100	600	700	600
<i>Pleurosigma directum</i>	-	-	-	200	300	-	-	200	-	-	-	9200	-	-	-	-	-	-	100
<i>P. normanii</i>	-	-	-	-	-	200	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudo-nitzschia circumpora</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia seriata</i>	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Skeltonema coastatum</i> -ls.	-	-	-	-	700	-	-	1000	-	400	400	-	-	-	600	-	-	700	-
<i>Stephanophyxis turris</i>	1400	3200	5100	-	-	-	400	1500	300	2600	-	32800	-	-	600	3100	2200	25600	1800
<i>Surirella foetiosa</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
<i>Thalassionema nitzschoides</i>	-	-	-	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	400	-	-	100	-
<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>	-	-	-	-	900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200
<i>Th. rotula</i>	-	-	-	2600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Unidentified diatoms	800	500	700	1400	900	2400	800	1000	1100	1400	1300	4300	1600	2400	900	2600	300	700	700

Appendix 1. Continued.

Species name	June 27~28, 2016 (Jeju Coastal Waters, Surface)																		
	Shinchon	Sewha	Ojo	Onpyeong	Pyoseon	Taehung	Wimi	Bomok	Seogwipo	Daepo	Sagye	Moseulpo	Yongsu	Geumneung	Stuweon	Aeweol	Gonae	Dotu	Sasu
PHYTOFLAGELLATES	1100	10600	4100	2700	2100	21400	7500	2600	1300	3300	7400	300	7200	21200	30500	2100	3700	1600	600
DINOFLAGELLATES	1000	9900	3300	1300	1100	4600	2800	1500	700	2900	4800	200	100	17000	9700	800	3500	1000	200
<i>Amylax triacantha</i>	-	-	300	-	-	-	600	700	-	-	200	-	-	100	400	-	-	-	-
<i>Gymnodinium</i> sp.	400	300	100	-	100	400	100	100	100	100	-	-	-	300	2400	-	2200	-	100
<i>Gyrodinium spirale</i>	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gyrodinium</i> sp.	-	400	200	-	-	400	500	-	100	-	-	-	-	800	-	-	-	-	-
<i>Karenia</i> sp.	-	4700	100	300	-	-	-	-	-	-	1600	-	-	6400	4800	-	-	100	-
<i>Prorocentrum compressum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-
<i>P. minimum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>P. triestinum</i>	-	1900	500	200	-	-	800	-	-	600	1600	-	-	5700	-	200	300	400	-
<i>Protoperidinium pallidum</i>	-	-	100	-	-	-	100	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Protoperidinium</i> spp.	-	200	100	100	-	600	-	-	-	-	-	-	100	200	200	-	-	-	-
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	-	-	-	-	-	100	-	-	-	500	-	-	-	400	-	-	100	-	-
<i>Scrippsiella</i> sp.	-	200	500	100	100	-	-	-	-	-	200	-	-	500	-	100	-	-	-
<i>Tripos furca</i>	-	-	-	-	-	100	-	700	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Unidentified dinoflagellates	600	2200	1400	600	900	2900	700	-	400	1600	1200	200	-	2600	1000	500	900	500	100
EULENOIDS	-	-	400	700	200	16500	3300	300	400	-	1600	-	6900	1400	700	100	-	200	100
<i>Eutreptiella gymnasitica</i>	-	-	400	700	200	16500	3300	300	400	-	1600	-	6900	1400	700	100	-	200	100
SILICOFAGELLATES	-	-	300	100	-	100	600	200	-	-	-	-	-	-	-	400	-	-	-
<i>Dictyocha fibura</i>	-	-	-	-	-	-	-	200	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-
<i>D. speculum</i>	-	-	200	100	-	-	600	-	-	-	-	-	-	-	-	300	-	-	-
<i>Ebria tripartita</i>	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Octactis otocarius</i>	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CHLOROMONADS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1000	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Heterosigma akashiwo</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1000	-	-	-	400	-	-	-	-
Unidentified flagellates	100	700	100	300	800	200	800	600	200	200	-	100	200	1000	100	800	200	400	300
BLUE GREEN ALGAE	-	-	-	100	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	-	-	-	100	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PROTOZOA	-	-	-	200	-	-	-	-	-	100	-	-	-	1800	19600	-	-	-	-
<i>Mesodinium rubrum</i>	-	-	-	200	-	-	-	-	-	100	-	-	-	1800	19600	-	-	-	-
Total cell number(cells L ⁻¹)	4,200	17,000	11,800	7,900	6,300	28,400	9,700	10,000	2,900	10,200	12,100	185,900	12,400	25,800	37,000	12,100	8,300	49,000	4,500
Species number	9	15	21	17	12	20	15	17	9	18	17	8	5	20	22	14	10	14	11