

제주도 문섬 산호서식지 주변의 생물생태학적 특성

II. 식물플랑크톤의 군집동태와 1차생산력

이준백* · 좌종현 · 강동우 · 고유봉 · 오봉철¹
제주대학교 해양학과, 1국립수산진흥원

Bioecological Characteristics of Coral Habitats around Moonsom, Cheju Island, Korea

II. Community Dynamics of Phytoplankton and Primary Productivity

Joon-Baek Lee*, Jong-Hun Choa, Dong-Woo Kang,
You-Bong Go and Bong-Cheol Oh¹

Department of Oceanography, Cheju National
University, Cheju 690-756, Korea and
¹National Fisheries Research and
Development Institute, Pusan 619-900, Korea

Community dynamics of phytoplankton and primary productivity have been investigated bimonthly from February 1997 to December 1997 in the coastal area around Moonsom of the southern Cheju Island, which is well-known for soft coral habitats in Korea. Average water temperature was 18.5°C, being stratified from May to September by the seasonal thermocline, while vertically homogeneous in the winter. Euphotic depths ranged from 18.9 m to 45.9 m (average 33.7 m). Chlorophyll *a* concentrations varied from 0.02 to 0.92 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$. Standing crops of phytoplankton ranged from 2×10^3 to 3.9×10^5 cells $\cdot \ell^{-1}$, showing a peak only in the spring. Diatoms occupied 67.5% of the total standing crops, while phytoflagellates, dinoflagellates and others 24.3%, 7.1% and 1%, respectively.

However phytoflagellates and dinoflagellates were predominated with 36.6% and 38.7% in June, respectively. There was four dominant species in the study area. *Chaetoceros socialis* Lauder was dominant species from December to April, *Prorocentrum micans* Ehrenberg in June. In August, *Chaetoceros socialis* Lauder dominated in inshore but *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve in offshore. In October, *Skeletonema costatum* (Greville) Gran dominated the whole area. Daily primary productivity varied from 32.3 to 364.9 $\text{mg C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ (average 180.7 $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$). Contribution of nanoplankton (<20 μm) to daily primary productivity was very high, accounting for 28.0-82.8%. Annual primary productivity is estimated 65.97 $\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$, which is lower than those of the coast of Yellow Sea and the southern waters. Nanoplankton seemed to adopt higher irradiances with I_k values of 190-1,000 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (mean 526.7 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) than total phytoplankton with 140-850 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (mean 466.7 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$).

Key words: phytoplankton, nanoplankton, community dynamics, primary productivity, Moonsom, Cheju Island

* Corresponding author (jblee@cheju.cheju.ac.kr)

Running title: Lee *et al.*: Phytoplankton Dynamics and Primary Productivity around Moonsom, Cheju Island

서 론

산호가 서식하는 해역의 생태계는 산호군집내의 다양한 생물과 주변생물들의 상호작용에 의해 유지되며 해양생태계 중에서 1차생산력이 비교적 높은 장소 중의 하나로 알려져 있다(Sorokin 1995). 산호생태계내의 식물플랑크톤은 동물플랑크톤과 함께 산호를 포함한 저서생물들의 주먹이원으로 기여하고 있으며 (Glynn 1973; Fabricius *et al.* 1995), 0.1-0.5 $\text{gC} \cdot \text{m}^{-2}$

$^2 \cdot \text{day}^{-1}$ 범위의 1차생산력을 나타낸다고 알려져 있다 (Nybakken 1997). 반면 Yahel *et al.*(1998)은 산호서식지에서 식물플랑크톤의 현존량과 생물량(chlorophyll *a*)은 낮은 분포특성을 나타낸다고 보고하였다. 하지만 이것은 산호가 분포하고 있는 해역의 물리화학적 특성과 생물분포에 따라 다르게 나타난다고 볼 수 있다. 산호서식지 주변해역은 식물플랑크톤에 있어 풍부한 광량과 깊은 유광층으로 비교적 양호한 환경을 이루고 있으며, 지금까지 크기에 따른 분류군별 현존량과 1차생산력을 측정함으로써 산호생태계의 유기물 생산과정과 저차생산 단계에 대한 연구가 이루어져 왔다 (Malone 1971, 1980; Ayukai 1995; Lindell and Post 1995). 우리나라에서 식물플랑크톤의 크기분포에 대한 연구는 Shim(1980)에 의해 최초로 연구된 후 많은 연구(Shim and Lee 1983; Shim *et al.* 1985; 신 등 1990)가 진행되었으며, 제주도 주변 연안역에서도 ^{14}C 방법에 의한 1차생산력 측정과 군집동태에 대한 연구가 진행되었다(이 등 1989, 1993, 1995; Chung and Yang 1991). 제주도 서귀포 문섬주변은 우리나라에서 흔히 나타나지 않는 독특한 아열대 해역으로써 연성산호가 풍부하게 서식하고 있다(서 1990). 그러나 대마난류수, 강우기의 집중적 담수유입, 하계 양자강수의 범람으로 인한 표층수의 저염화 현상, 그리고 조류 및 기상상태에 따라 매우 복잡한 해양환경을 형성하고 있는 해역이다(방과 김 1989; 최 등 1992; 김 등 1998). 따라서 이러한 해역에서 식물플랑크톤의 크기분포에 따른 군집동태와 1차생산력을 측정하는 것은 문섬주변 산호 서식지 생태계를 이해하는데 매우 중요한 의미를 지닌다고 할 수 있다.

본 연구는 좌와 이 (2000)에 의해 1995년 7월부터 1996년 5월까지 이루어진 식물플랑크톤 군집구조와 환경특성의 1차년도 자료를 기초로한 2차년도 결과로써 식물플랑크톤의 크기분포별 1차생산력과 분류군별 군집동태를 파악하여 문섬주변 해역의 생물생태학적 특성을 고찰하였다.

재료 및 방법

조사는 1997년 2월부터 1997년 12월까지 제주도 서귀포 앞 주변 해역에서 서귀포항 입구의 정점 1과 산

호서식지인 문섬 옆의 정점 2를 선정하여 격월 간격으로 실시하였다(Fig. 1). 식물플랑크톤 시료는 각 정점의 수층별(표층, 10 m, 30 m, 50 m, 75 m)로 Niskin 채수기를 이용하여 1ℓ씩 채수한 다음 선상에서 Lugol 용액으로 고정하였다. 이를 실험실로 운반하여 침전법에 의해 농축된 시료를 균일하게 섞은 후 1 ml를 Sedgwick-Rafter counting chamber에 넣고 광학현미경 (Zeiss Axioplan II)하에서 전체 세포수를 반복 계수한 뒤 평균하여 $\text{cells} \cdot \ell^{-1}$ 로 환산하여 현존량으로 표시하였다. 동정은 고배율($\times 400$ - $1,000$)하에서 돌말류, 와편모조류, 규질편모조류, 유글레나류와 그의 식물성 편모조류를 중심으로 실시하였으며 동종이명은 Tomas(1996)와 Throndsen (1993)의 근거로 정리하였다.

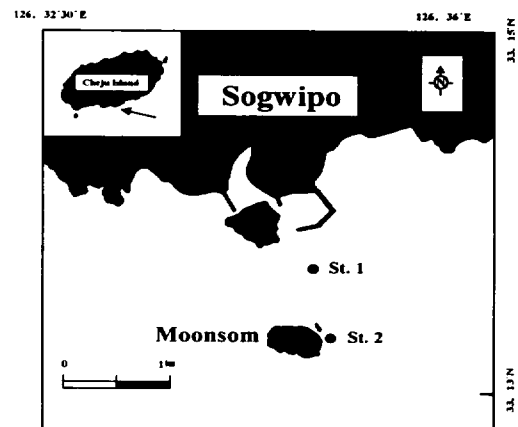


Fig 1. A map showing the sampling stations around Moonsom in the Sogwipo coast of Cheju Island.

식물플랑크톤의 chlorophyll *a* 측정시료는 수층별로 해수 1ℓ를 취하여 GF/C filter(Whatman 47mm)로 여과한 다음 90% acetone에 24시간 동안 냉장 보관한 후 3,500 rpm에서 원심분리 시킨 후 UV-VIS spectrophotometer(Shimadzu 1201)로 측정하여 Parsons *et al.*(1984)의 식에 의해 단위 체적당 클로로필량(μg chlorophyll *a* $\cdot \ell^{-1}$)으로 계산하였다.

크기별 1차생산력은 nanomesh(mesh size 20 μm)로 시료를 통과시킨 것과 통과시키지 않은 시수를 각각 nanoplankton과 total phytoplankton으로 나누어 Parsons *et al.*(1984)에 의한 방법으로 배양용 80 ml cap test

tube에 해수를 채운 후, 3 μCi 의 $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ 를 주입하여 현장수온의 자연광 조건하에서 약 2시간 정도 배양하였다. 배양이 끝난 각각의 시료는 Whatman GF/C filter로 여과하여 포집한 후 20 ml scintillation vial에 옮긴 다음 여과지 위의 무기 ^{14}C 를 제거하기 위하여 0.5N HCl 용액을 사용하여 acid fuming 하였다. 이 후 각각의 vial에 15 ml의 scintillation cocktail을 첨가한 다음 scintillation counter(Packard Tri-Carb-2700TR)의 external standard method에 의하여 carbon activity를 측정하였다. 현장해수의 total CO_2 의 값은 pH와 alkalinity로 계산하였다. 배양조건은 표층광도의 100, 68, 35, 15, 5%의 광조건에서 배양하여 단위 체적당 1차생산력($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{hr}^{-1}$)을 계산하였으며, 광도계(Li-Cor 1000)에 의해 측정된 1일 광량과 배양시 광량의 비례에 의해 1일 1차생산력($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$)을 구하였다. 수층의 1차생산력을 구하기 위하여 투명도로 유광층을 계산하고 각 광조건으로부터 추정된 수심을 결정하였다. 이를 기초로 각 수심의 1일 1차생산력($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)을 추정하고 이를 적분하여 수층의 면적당 1일 1차생산력($\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)을 계산하였다. 식물플랑크톤 생산력의 특성을 밝히기 위하여 최대동화계수($P_{\text{max}} = \text{maximum assimilation number}$), 광합성효율($\Delta P / \Delta I = \alpha$, initial slope), 포화광량($I_k = \text{saturation irradiance}$), 최대광량 ($I_{\text{max}} = \text{maximum irradiance}$) 등을 각각 구하였다.

환경특성을 위한 분석으로 수온은 봉상온도계로, pH는 pH meter(Orion 920A)로 그리고 투명도는 Secchi disk로 현장에서 측정하였다.

결과 및 고찰

물리적 환경특성(수온, 강수량, 투명도)

연 평균수온은 18.5 $^{\circ}\text{C}$ (14.2-25.0 $^{\circ}\text{C}$)로 표층에서 19.6 $^{\circ}\text{C}$, 10 m층 19.0 $^{\circ}\text{C}$, 30 m층 18.4 $^{\circ}\text{C}$, 50 m층 17.6 $^{\circ}\text{C}$ 와 75 m층에서 16.6 $^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 보였고 연간 수온변동폭은 표층에서 10.2 $^{\circ}\text{C}$, 10 m층 9.4 $^{\circ}\text{C}$, 30 m층 8.0 $^{\circ}\text{C}$, 50 m층 7.2 $^{\circ}\text{C}$ 와 75 m층에서 3 $^{\circ}\text{C}$ 를 보여 표층에서 10 m층까지의 수온 변동폭이 크게 나타났다(Fig. 2). 이러한 연 평균수온은 좌와 이(2000)가 조사한 1차년도 17.4 $^{\circ}\text{C}$ 와 제주도 해안선역에서의 17.3 $^{\circ}\text{C}$ (최 등 1989)보다 다소 높지만 일반적인 제주도 연안역의 수온분포 범위내에 속하였고, 조사기간중 5월부터 9월까지 수온 약층이 형성되었다.

Secchi disk로 추정한 조사해역의 유광층은 연평균 33.7 m(18.9-45.9 m)로 1차년도의 연평균 32.0 m보다 약간 높게 나타났다(좌와 이 2000). 정점별로 보면 수심이 낮고 육상으로부터 부유물질의 영향을 직접적으로 받는 정점 1이 31.3 m로 산호서식지의 정점 2의 36.1 m보다 낮았다. 계절별로는 추계가 타 계절보다 높은 값을 보였는데(Fig. 3) 하계인 7월과 8월에 서귀포지역의 강수량(기상청 1998)은 연강수량의 30.8%인 485.0 mm가 집중적으로 내려 담수유입 영향으로 탁도가 증가하여 유광층의 깊이가 감소했다고 볼 수 있다. 대부분의 연성산호류가 약 50-70 m까지의 유광층내에 분포하는데(Fabius *et al.* 1995, 1998) 비해 문섬 주변 해역의 연성산호류는 약 45 m까지 분포하고 있다고 보고되었다(서 1990). 이는 본 조사의 결과인 최

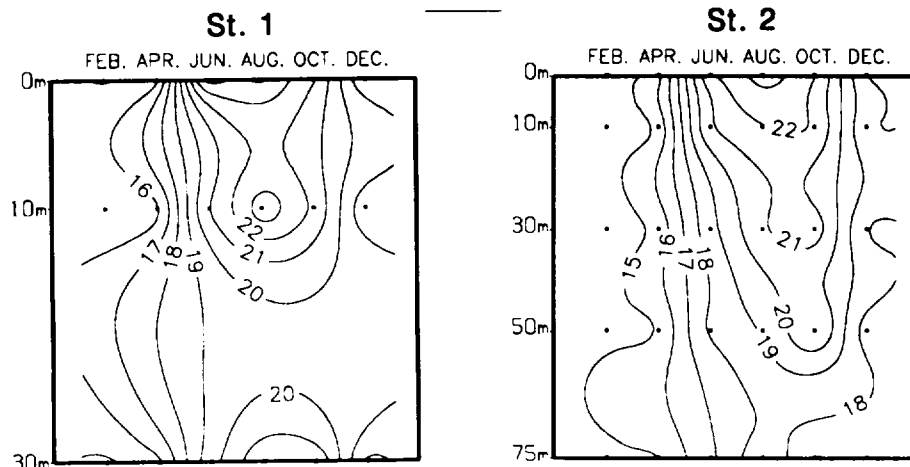


Fig 2. Seasonal fluctuation of water temperature($^{\circ}\text{C}$) in the study area.

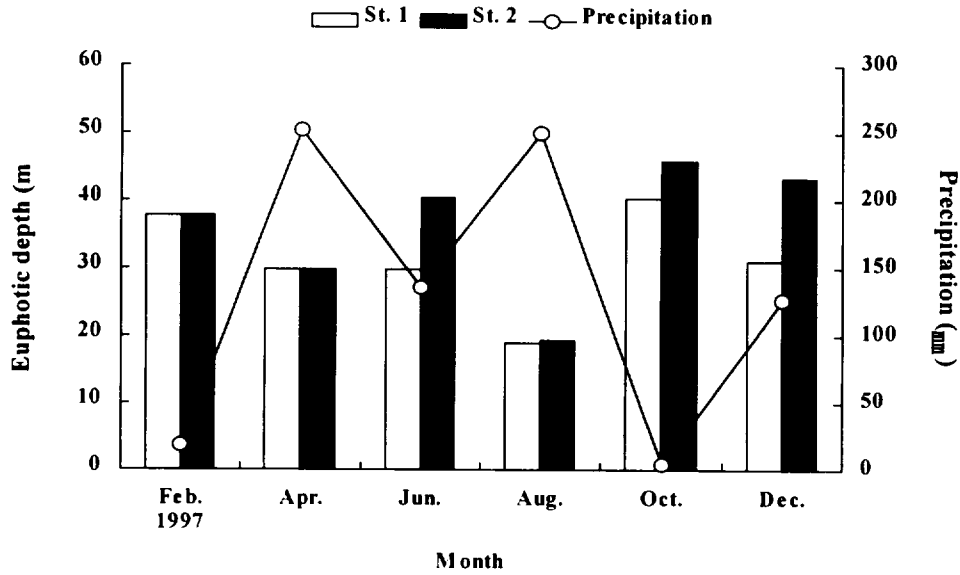


Fig. 3. Variations of euphotic depth and precipitation in the study area.

대 유광층 수심 45.9 m와 잘 일치하고 있어 유광층의 분포가 산호류의 서식한계를 결정하는 중요한 요인 중의 하나임을 알 수 있다. 그러나 문섬 주변의 유광층은 조류나 기상상태와 같은 물리적 요인, 그리고 해조

류의 포자발생과 식물플랑크톤의 계절에 따른 대증식 등과 같은 생물학적 요인에 의해서 영향을 받고 있다고 생각된다.

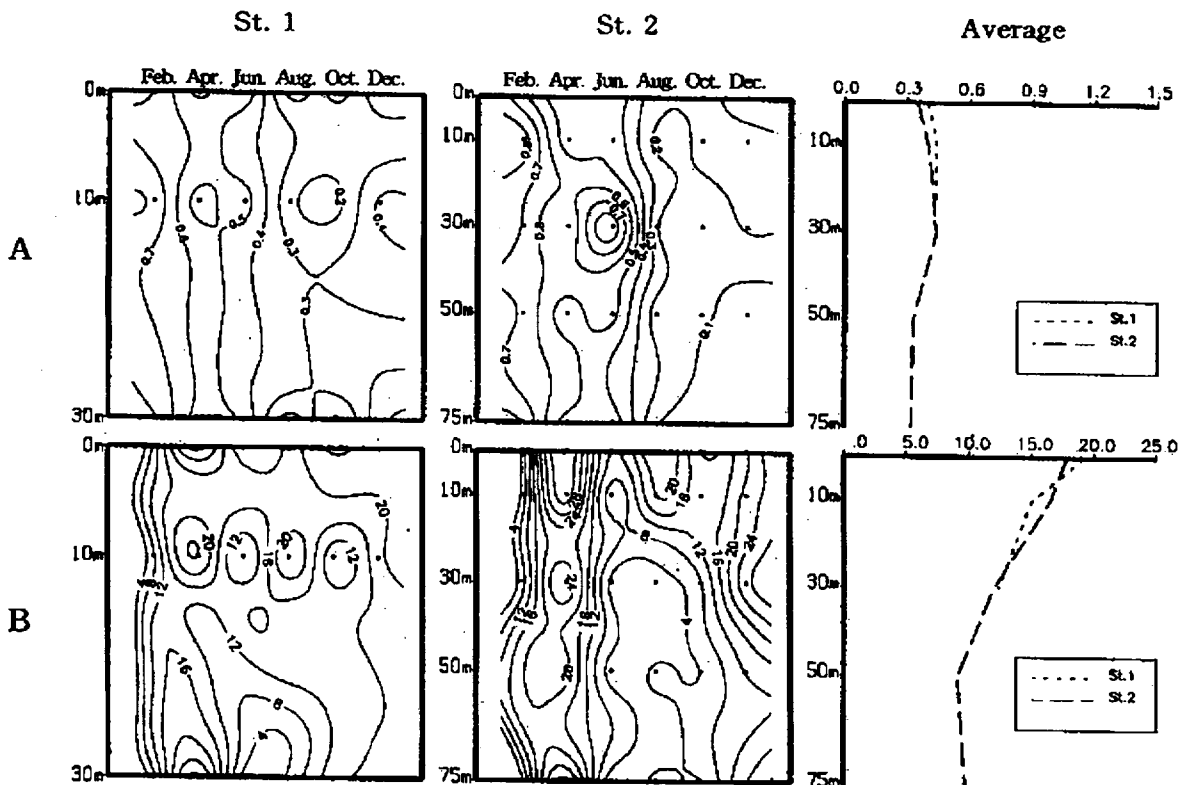


Fig. 4. Vertical distribution of chlorophyll *a* ($\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$; A) and standing crops ($\times 10^4 \text{ cells} \cdot \ell^{-1}$; B) in the study area from Feb. to Dec. 1997.

Chlorophyll a의 분포

조사기간 중 chlorophyll a 농도는 0.02-0.92 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 의 범위를 보였고 연평균은 0.36 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 이었다. 월별 평균은 8월에 0.14 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 로 가장 낮았고 2월에 0.77 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 로 가장 높았다. 정점별 평균은 항 입구의 정점 1이 0.40 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$, 산호서식지의 정점 2에서 0.33 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 이었다. 또한 층별 평균은 0.29-0.40 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 로써 10 m층이 가장 높았고 50 m층에서 가장 낮았다(Fig. 4). 제주도 연안해역과 비교하면 해안선 주변의 0.45-2.59 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (이 등 1989), 북부 연안역(함덕)의 0.10-1.23 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (최 등 1991), 동부 연안역(우도)의 0.21-2.12 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (이 등 1993), 서부 연안역(고산)의 0.17-1.06 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (최 등 1994), 동일한 조사해역인 남부 연안역(서귀포)의 0.10-4.34 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (최 등 1992)와 1차년도 연평균인 0.73 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ (좌와 이 2000)보다도 낮아 제주도 주변해역의 일반적인 경향과 다른 특징을 보이고 있다.

식물플랑크톤의 현존량

식물플랑크톤의 현존량은 2×10^3 - 3.9×10^5 cells $\cdot \ell^{-1}$ 의 범위으로써 월별 평균은 2월에 3.5×10^4 cells $\cdot \ell^{-1}$ 로 가장 적었고 4월에 3.2×10^5 cells $\cdot \ell^{-1}$ 로 가장 많았다(Fig. 4). 정점별 평균은 정점 1이 1.4×10^5 cells $\cdot \ell^{-1}$, 정점 2가 1.2×10^5 cells $\cdot \ell^{-1}$ 로써 정점 1이 문섬 주변의 정점 2보다 다소 높은 경향을 보이고 있는데 이러한 이유는 서귀포항에 가까운 정점 1이 육지에서 유입되는 영양염 공급과 얕은 수심으로 수직혼합이 활발하여 식물플랑크톤 생육에 유리하기 때문이라 생각된다. 한편 층별 평균은 표층이 가장 높았고 저층으로 갈수록 현존량 감소가 뚜렷하였는데 이는 chlorophyll a 분포와 다른 경향을 보이고 있다. 제주도 다른 해역과 비교하면 해안선 주변의 평균인 2.0×10^3 - 1.3×10^6 cells $\cdot \ell^{-1}$ (이 등 1989), 북부 연안역(함덕)에서의 8.8×10^3 - 2.4×10^6 cells $\cdot \ell^{-1}$ (윤 등 1990)은 춘계에 10^5 cells $\cdot \ell^{-1}$ 이상의 대증식을 보였지만 본 조사에서는 특이하게 춘계에만 증식하는 경향을 보였으며 1차년도 조사(좌와 이 2000)와 같은 결과였다. 분류군

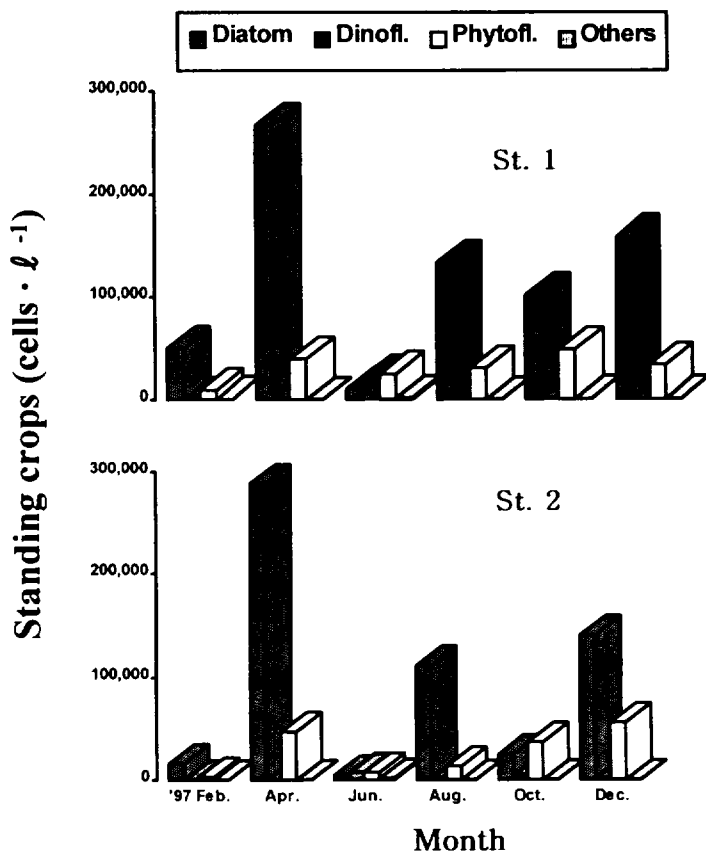


Fig. 5. Standing crops (cells · ℓ⁻¹) of taxonomical groups in the study area.

별 현존량은 돌말류가 $0.9 \times 10^3 - 3.5 \times 10^5$ cells · ℓ^{-1} , 와편모조류는 $0.1 \times 10^3 - 5.1 \times 10^4$ cells · ℓ^{-1} , 식물성 편모조류는 $0.7 \times 10^3 - 9.8 \times 10^4$ cells · ℓ^{-1} , 그외 유글레나류와 규질편모조류는 각각 $2 \times 10^2 - 8 \times 10^3$ cells · ℓ^{-1} , $1.5 \times 10^2 - 1.0 \times 10^3$ cells · ℓ^{-1} 이었다(Fig. 5). 돌말류가 6월을 제외하고는 모든 계절에 걸쳐 가장 높은 현존량 분포를 나타내었고, 반면 와편모조류는 6월에 표층부터 10 m층까지 비교적 높은 분포를 보였으며, 식물성 편모조류들은 연 평균 2.8×10^4 cells · ℓ^{-1} 로 동계를 제외한 모든 계절에 증가하는 경향을 보였다(Fig. 5). 그외 유글레나류는 6월에 표층에서 30 m층까지 10^4 cells · ℓ^{-1} 이내로 가장 높았고 규질편모조류는 12월에 10^3 cells · ℓ^{-1} 이내로 저층에서 높았다. 분류군별 평균현존량의 점유율은 규조류가 총현존량의 67.5% 이상, 식물성 편모조류와 와편모조류는 각각 24.3%와 7.1%를 차지하였고 그외 분류군들은 계절에 따라 1% 이하를 차지하였다. 특히 6월에 와편모조류와 식물성 편모조류가 각각 36.6%와 38.7%로 높은 점유율을 차지하여 특이하였다.

식물플랑크톤의 종조성

식물플랑크톤은 총 72속 148종으로 돌말류가 108종(47속 100종 2변종 3품종 3미동정종), 와편모조류가 14종(8속 13종 1미동정종), 규질편모조류가 5종(1속 3종 2변종), 남조류가 1종(1속 1종), 식물성 편모조류는 20종(15속 11종 9미동정종)이 출현하여 1차년도 조사(좌와 이 2000)의 128종보다 많이 출현하였다(Appendix). 출현종의 구성비율은 돌말류가 72.9%, 와편모조류는 9.5%, 규질편모조류는 3.4%, 남조류 및 이외의 식물성 편모조류는 각각 0.7%와 13.5%를 차지하였다. 이는 제주 동부 연안역(우도)에서 돌말류가 80.5%, 와편모조류가 11.2%(이 등 1993), 북부 연안역(함덕)에서 돌말류가 72.7%, 와편모조류가 21.2%(이 등 1995), 한국 남서해역에서 돌말류가 80.5%, 와편모조류가 16.3%(Shim and Park 1984) 차지하였던 연구 결과와 유사하였다. 전체정점에서 월별 출현빈도가 5회 이상되는 종류는 총 15종으로 *Bacteriastrium hyalinum*, *Chaetoceros pendulus*, *C. socialis*, *Cylindrotheca closterium*, *Guinardia striata*, *Leptocylindrus danicus*, *Navicula distans*, *Nitzschia longissima*, *N. sigma*, *Pseudo-nitzschia seriata* f. *seriata*,

Rhizosolenia setigera, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira nordenskioldii* 등 돌말류가 13종, 와편모조류는 *Prorocentrum micans* 1종, 식물성 편모조류는 *Hilliea fusiformis* 1종이 출현하였다. 돌말류인 *N. longissima*, *P. seriata* f. *seriata*, *T. nitzschioides*, *T. nordenskioldii*와 와편모조류인 *P. micans*는 매월 모든 정점에서 출현하였다. 월별 출현종수는 24-72종의 분포로 4월에 가장 많이 출현하였고 6월에 가장 적은 출현종수를 보였다. 분류군별 출현종수는 하계를 제외한 전 계절에 고르게 분포하는 경향을 보였지만 이중 와편모조류는 전체 출현종수 14종 가운데 11종이 수온이 높은 6월과 8월에 집중적으로 출현하였다. 정점별 총 출현종수는 정점 1과 정점 2에서 120종과 116종이 출현하여 큰 차이를 보이지 않았다.

우점종의 변화

우점율이 30% 이상, 월별 출현빈도가 4회 이상 그리고 현존량이 10^4 cells · ℓ^{-1} 이상인 종을 우점종으로 선정을 한 결과 *Chaetoceros socialis*, *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum* 등 돌말류가 3종이었고, 와편모조류는 *Prorocentrum micans* 1종이었다(Fig. 6). 돌말류에서 가장 높은 우점율을 보인 종은 *C. socialis*로 37.1-70.0%의 우점율을 나타내었다. 이 종은 제주도 해안선역에서 춘계와 추계에 우점하고(이 등 1990; 윤 1993), 한림항과 성산항내에서 대증식을 일으키는 종으로 알려져 있는데(이와 좌 1990) 본 조사시에는 동계에도 높은 우점율을 보임으로써 1차년도(좌와 이 2000)와 다른 결과를 보였다. 그러나 와편모조류 중에서 *P. micans*는 수온이 높은 시기인 하계에만 67.6-75.8%의 우점율을 나타내어 1차년도와 같은 결과였다. 우점종의 계절변화를 살펴보면 정점 1에서는 *C. socialis*(2, 4월) - *P. micans*(6월) - *C. socialis*(8월) - *S. costatum*(10월) - *C. socialis*(12월), 산호가 서식하고 있는 정점 2에서는 *C. socialis*(2, 4월) - *P. micans*(6월) - *P. sulcata*(8월) - *S. costatum*(10월) - *C. socialis*(12월)가 우점하였다(Fig. 6). 정점 2에서 8월에 우점한 일시부유성 돌말류 *P. sulcata*는 1차년도 조사시기인 1월과 7월에도 우점하는 특성을 보였다.

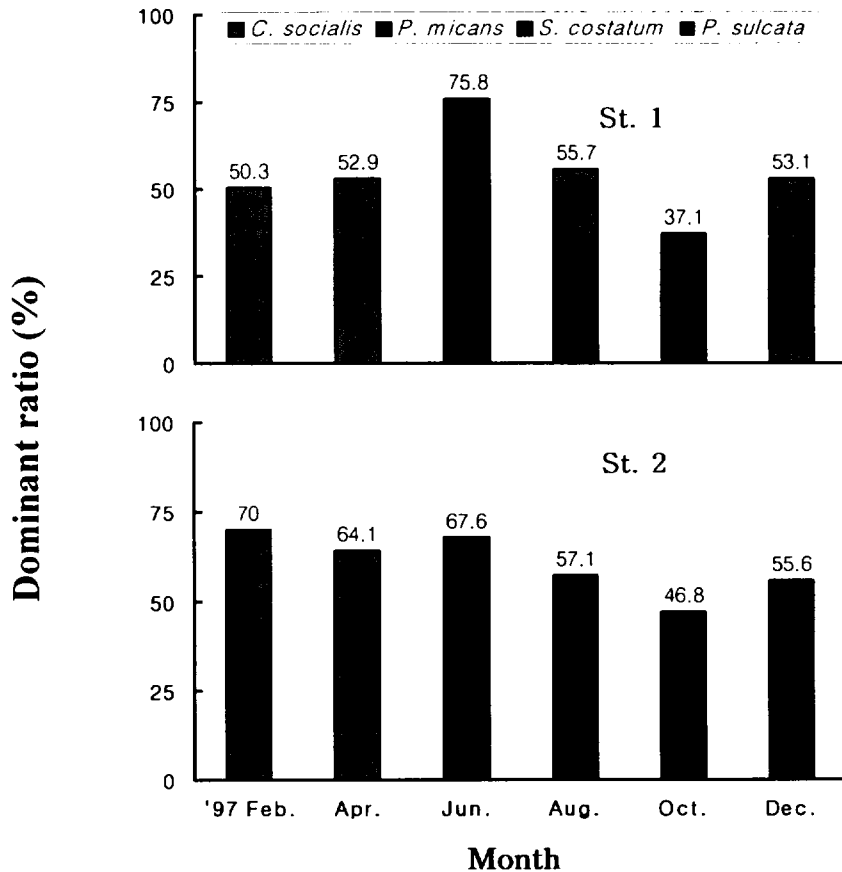


Fig. 6. Seasonal succession of dominant species in the study area.

1차생산력

총 식물플랑크톤(total phytoplankton)의 1일 1차생산력은 32.3-364.9 mgC · m⁻² · day⁻¹의 범위로 평균값은 180.7 mgC · m⁻² · day⁻¹이었고, 연간 1차생산력은 65.97 gC · m⁻² · yr⁻¹로 추정되었다(Table 1). 정점별 평균분포는 정점 1에서 195.5 mgC · m⁻² · day⁻¹로 정점 2의 165.9 mgC · m⁻² · day⁻¹보다 높았다. 정점 1은 10월에 높고 정점 2는 6월이 높았고 8월에 모든 정점에서 낮았다. 1일 1차생산력 분포를 다른 해역과 비교하면 제주도 해안선에서는 1.3-117.0 mgC · m⁻³ · day⁻¹이었고(이 등 1989), 동부 연안역(우도) 평균 257.7 mgC · m⁻² · day⁻¹(이 등 1993), 한국 동남해역에서 추계(10월)에 700-2,700(평균 1,310) mgC · m⁻² · day⁻¹(Shim and Park 1986), 남해안에서 314-1,717 mgC · m⁻² · day⁻¹(Chung and Yang 1991), 서해안에서 평균 883.9 mgC · m⁻² · day⁻¹(정과 박 1988), 서해 중동부 연안수역에서 평균 361.54 mgC · m⁻² · day⁻¹(강 등 1992), 동해 남부해역에서 263.3-1,085.5 mgC · m⁻² · day⁻¹(이 등 1998)

으로 보고된 바 있어 본 조사해역에서의 1차생산력은 서해역과 남해역보다 낮은 생산력을 나타내었다.

Nanoplankton의 1일 1차생산력은 25.7-268.7 mgC · m⁻² · day⁻¹의 범위로 평균 114.3 mgC · m⁻² · day⁻¹이었으며, 연간 1차생산력은 41.77 gC · m⁻² · yr⁻¹으로 추정되었다. Nanoplankton의 정점별 평균분포는 정점 2가 102.7 mgC · m⁻² · day⁻¹로 정점 1에서 125.9 mgC · m⁻² · day⁻¹보다 높았지만, 천수만(16.4-767.2 mgC · m⁻² · day⁻¹; 신 등 1990)보다 낮았으며 총 1일 1차생산력의 28.0- 88.8%(평균 59.4%)를 차지하고 있었다. Nanoplankton은 4월부터 12월까지 1일 1차생산력에 기여하는 바가 컸지만 정점간 평균적인 기여도는 정점 1에서 8월부터 10월까지 3.3-16.2%, 정점 2에서 2월부터 6월까지 0.1-3.0%로 기여하고 있었다. 이와같이 정점 1에서 Nanoplankton의 생산력이 높은 것은 다른 해역에 비해 높은 광량과 높은 수온이 연중 유지되어 20 μm이하의 식물성 편모조류들이 영양염 섭취와 광합수에 유리하기 때문이라 생각된다(Banse 1976).

Table 1. Primary productivity, P_{\max} , $\Delta P/\Delta I (= \alpha)$, I_k and I_{\max} of phytoplankton around Moonsom, Cheju Island, from February to December, 1997

A : Total phytoplankton

Station	Month	PP (hr)	Int PP	P_{\max}	$\Delta P/\Delta I (= \alpha)$	I_k	I_{\max}
St. 1	Feb.	1.44	111.9	2.5	0.004	350	895
	Apr.	3.89	211.7	10.6	0.010	400	1240
	Jun.	4.23	353.7	7.8	0.014	300	1910
	Aug.	2.22	46.4	19.3	0.003	850	1865
	Oct.	3.39	364.9	14.0	0.006	534	1116
	Dec.	1.09	84.5	9.1	0.008	140	428
St. 2	Feb.	1.46	102.7	2.6	0.004	334	865
	Apr.	3.61	123.3	9.3	0.005	750	1390
	Jun.	4.34	349.6	8.7	0.016	266	1208
	Aug.	2.24	32.3	10.2	0.003	666	1693
	Oct.	4.03	285.5	16.8	0.007	600	1124
	Dec.	1.41	102.1	11.8	0.004	350	480

B : Nanoplankton

Station	Month	PP (hr)	Int PP	P_{\max}	$\Delta P/\Delta I (= \alpha)$	I_k	I_{\max}
St. 1	Feb.	0.82	48.0	1.7	0.002	400	950
	Apr.	1.76	108.9	6.1	0.004	450	1250
	Jun.	1.69	254.0	11.2	0.002	1000	1550
	Aug.	1.82	38.4	26.6	0.002	834	1580
	Oct.	2.67	268.7	20.1	0.006	450	880
	Dec.	0.35	37.3	6.4	0.002	196	293
St. 2	Feb.	0.66	46.8	1.8	0.002	450	900
	Apr.	1.50	63.5	5.9	0.004	350	963
	Jun.	1.11	261.6	8.5	0.002	750	1325
	Aug.	1.19	25.7	12.9	0.002	650	1150
	Oct.	2.28	190.0	15.2	0.004	600	1300
	Dec.	0.14	28.6	3.1	0.001	190	286

PP (hr) (primary productivity per hour at the surface) : $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{hr}^{-1}$ Int PP (daily depth-integrated primary productivity in the water column) : $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ P_{\max} (maximum assimilation number) : $\text{mgC} \cdot \text{mgchl} \alpha^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ $\Delta P/\Delta I (= \alpha)$, initial slope) : $(\text{mgC} \cdot \text{mgchl} \alpha^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}) [(\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})]^{-1}$ I_k (saturation irradiance) : $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ I_{\max} (maximum irradiance) : $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

총 식물플랑크톤의 chlorophyll *a*에 의한 탄소 고정 능력인 최대동화계수(maximum assimilation number)은 2.5-19.3 mgC · mgchl *a*⁻¹ · hr⁻¹의 범위(평균 10.2 mgC · mgchl *a*⁻¹ · hr⁻¹)로서 정점 1(평균 10.6 mgC · mgchl *a*⁻¹ · hr⁻¹)이 정점 2(평균 9.9 mgC · mgchl *a*⁻¹ · hr⁻¹)보다 높게 나타나고 있었다(Table 1). Nanoplankton의 최대동화계수도 1.7-26.6 mgC · mgchl *a*⁻¹ · hr⁻¹의 범위(평균 10.0 mgC · mgchl *a*⁻¹ · hr⁻¹)로 정점 1(평균 12.0 mgC · mgchl *a*⁻¹ · hr⁻¹)이 정점 2(평균 7.9 mgC · mgchl *a*⁻¹ · hr⁻¹)보다 높았으며 여름철이 타 계절보다 높았다. 다른 해역과 비교하면 총 식물플랑크톤의 최대광합성율은 서해 중동부 연안수역과 경기만에서의 평균 4.0와 7.7 mgC · mgchl *a*⁻¹ · hr⁻¹(강 등 1992)보다 높았으며, Nanoplankton의 최대동화계수도 서해 중동부 연안수역과 경기만에서의 평균 3.9와 4.3 mgC · mgchl *a*⁻¹ · hr⁻¹(강 등 1992)보다 훨씬 높게 나타났다. 따라서 조사해역의 최대동화계수는 타 해역보다 높은 수온, 양호한 광조건 그리고 낮은 탁도에 의해 높은 것으로 생각된다. Table 1에서 포화광량인 *I*_k는 주위 광조건에 대한 생리적 적응상태를 제시해주는 매개변수로 일반적으로 암적용 상태인 식물플랑크톤에서 낮은 값을 보이는데 문섬 주변해역은 140-850 μE · m⁻² ·

s⁻¹(평균 466.7 μE · m⁻² · s⁻¹)으로 이곳에 서식하는 식물플랑크톤은 높은 광에 적응되어 있으며 또한 Nanoplankton도 190- 1,000 μE · m⁻² · s⁻¹(평균 526.7 μE · m⁻² · s⁻¹)으로 높게 측정되어 높은 광에서 적응되어 있었다. 경기만과 서해 중동부 연안수역(강 등 1992)에서는 각각 평균 48.4와 120.4 μE · m⁻² · s⁻¹으로 연구해역보다 훨씬 낮게 측정되어 문섬주변 해역의 식물플랑크톤들은 높은 광조건에 적응하는 Nanoplankton에 좌우되고 있다고 생각된다. P-I curve상에서 초기기울기(initial slope)인 *a*는 빛을 이용하여 1차생산을 하는 식물플랑크톤의 광 이용 효율을 지시해주는 매개변수로 조사해역은 0.001-0.299의 범위로 측정되었다(Fig. 7). 6월의 *a* 값은 정점 1이 0.014와 정점 2가 0.016였으며 포화광량은 각각 300과 266 μE · m⁻² · s⁻¹였다.

이와같이 서귀포 문섬주변 해역은 좋은 광조건, 높은 수온, 낮은 탁도와 서귀포쪽에서 유입되는 영양염류 등의 환경조건이 크기가 작은 Nanoplankton에 좋은 환경을 제공하여, 이들에 의한 높은 생산력이 연성산호류를 비롯한 저서생물 및 기타 표영생태계 생물군들을 유지한다고 볼 수 있다.

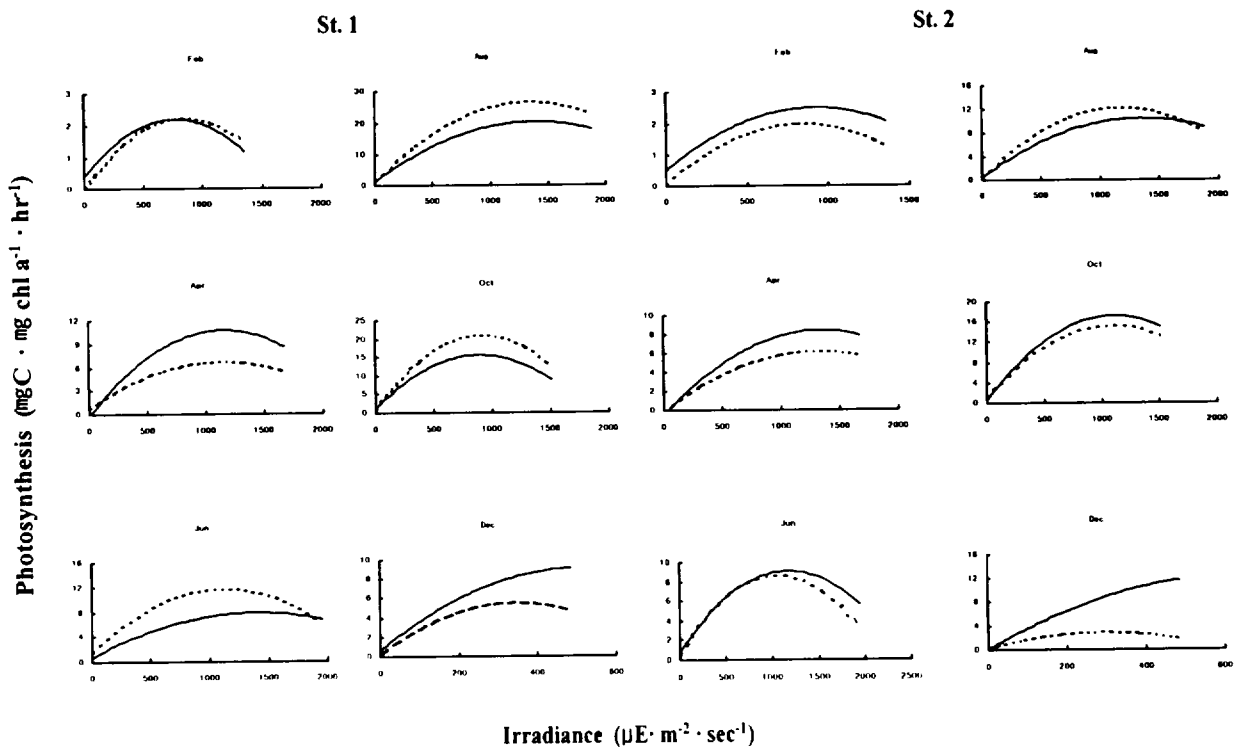


Fig. 7. P-I curves of total phytoplankton (solid lines) and nanoplankton (dashed lines) in the study area.

Appendix. Check-list of phytoplankton occurred in the Moonsom of Cheju Island from February to December 1997

DIATOMS

- Achnanthes brevipes* Agardh
Actinoptychus senarius (Ehrenberg) Ehrenberg
Amphiprora alata (Ehrenberg) Kützing
Amphiprora angustata Hendy
Amphiprora sp.
Amphora coffeaeformis Kützing
Amphora laevis Gregory
Amphora sp.
Asterionellopsis glacialis (Castracane) Round
Asterionellopsis kariana (Grunow) Round
Asteromphalus flabellatus (Brébisson) Creville
Bacillaria paxillifera (Müller) Hendey
Bacteriastrum furcatum Shadbolt
Bacteriastrum hyalinum Lauder
Bacteriastrum elongatum Cleve
Biddulphia reticulata (Ehrenberg) Roper
Cerataulus turgidus Ehrenberg
Chaetoceros affinis Lauder
Chaetoceros atlanticus Cleve
Chaetoceros brevis Schütt
Chaetoceros compressus Lauder
Chaetoceros curvisetus Cleve
Chaetoceros danicus Cleve
Chaetoceros debilis Cleve
Chaetoceros decipiens Cleve
Chaetoceros densus Cleve
Chaetoceros dichæta Ehrenberg
Chaetoceros didymus Ehrenberg
Chaetoceros didymus var. *protuberans*
(Lauder) Gran & Yendo
Chaetoceros distans Cleve
Chaetoceros frichei Hustedt
Chaetoceros gracilis Schütt
Chaetoceros lacinosus Schütt
Chaetoceros lorenzianus Grunow
Chaetoceros messanensis Gastracane
Chaetoceros pendulus Karsten
Chaetoceros perpusillus Cleve
Chaetoceros peruvianus Brightwell
Chaetoceros socialis Lauder
Chaetoceros vanheurcki Gran
Cocconeis pseudomarginata Gregory
Cocconeis scutellum Ehrenberg
Corethron criophilum Castracane
Coscinodiscus centralis Ehrenberg
Coscinodiscus marginatus Ehrenberg
Coscinodiscus rothii (Ehrenberg) Grunow
Cylindrotheca closterium (Ehrenberg)
Reimann & Lewin
Dactyliosolen fragilissimus (Bergon) Hasle
Detonula pumila (Castracane) Schütt
Diatoma elongatum Agardh
Diploneis fusca (Gregory) Cleve
Diploneis splendida (Gregory) Cleve
Ditylum brightwellii (West) Grunow
Ditylum sol Grunow
Eucampia cornata (Cleve) Grunow
Eucampia zodiacus Ehrenberg
Fragilaria striatula Lyngbye
Grammatophora angulosa Ehrenberg
Grammatophora marina (Lyngbey) Kützing
Guinardia delicatula (Cleve) Hasle
Guinardia flaccida (Castracane) Peragallo
Guinardia striata (Stolterforth) Hasle
Gyrosigma fasciola Cleve
Hemiaulus hauckii Grunow
Lauderia annulata Cleve
Lauderia glacialis (Grunow) Gran
Leptocylindrus danicus Cleve
Leptocylindrus mediterraneus Peragallo
Licmophora lyngbyei (Kützing) Grunow
Licmophora flabellata Agardh
Lioloma delicatulum (Cupp) Halse
Lioloma pacificum (Cupp) Halse
Melosira nummuloides Agardh
Meuniera membranacea (Cleve) P. C. Silva
Navicula distans (Smith) Ralfs
Navicula sp.
Nitzschia longissima (Brébisson) Ralfs
Nitzschia longissima var. *reversa* Smith
Nitzschia sigma (Kützing) Smith
Nitzschia spatulata Brébisson
Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve
Planktoniella sol (Wallich) Schütt
Pleurosigma aestuarii (Brébisson ex Kützing)
W. Smith
Pleurosigma elongatum Smith

Pleurosigma longum Cleve
Proboscia alata (Brightwell) Sundstrom
Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima (Cleve)Heiden
Pseudo-nitzschia pungens (Grunow ex Cleve)Hasle
Pseudo-nitzschia seriata f. *seriata* (Cleve) Peragallo
Pseudosolenia calcar-avis (Schultze) Sundström
Rhizosolenia bergonii Peragallo
Rhizosolenia hebetata f. *hebetata* Bailey
Rhizosolenia hebetata f. *semispina* (Hansen)

Gran

Rhizosolenia setigera Brightwell
Rhizosolenia simplex Karsten
Skeletonema costatum (Greville) Gran
Stephanopyxix palmeriana (Greville) Grunow
Stephanopyxix turris (Greville) Ralfs
Surirella armoricana Peragallo
Surirella cuneata Schmidt
Thalassionema fauencfeldii (Grunow) Hallegraeff
Thalassionema nitzschioides Hustedt
Thalassiosira eccentrica (Ehrenberg) Cleve
Thalassiosira hyalina (Grunow) Cleve
Thalassiosira leptopus (Ehrenberg) Fryxell &
 Hasle
Thalassiosira nordenskiöldii Cleve
Thalassiosira rotula Meunier
Thalassiothrix longissima Cleve & Grunow

SILICOFLAGELLATES

Dictyocha fibula Ehrenberg
Dictyocha fibula var. *stapedia* (Haeckel)
 Lemmermann
Dictyocha staurodon Ehrenberg
Dictyocha speculum Ehrenberg
Dictyocha speculum var. *octonarius* (Ehrenberg)
 Jörgensen

DINOFLAGELLATES

Ceratium furca (Ehrenberg)
 Claparède & Lachmann
Ceratium fusus (Ehrenberg) Dujardin
Ceratium lineatum (Ehrenberg) Cleve
Ceratium tripos (O. F. Müller) Nitzsch
Dinophysis caudata Saville-Kent
Gonyaulax spinifera (Claparède & Lachmann)
 Diesing
Gymnodinium sp.

Noctiluca scintillans (Macartney) Kofoid &
 Swezy

Prorocentrum micans Ehrenberg
Prorocentrum scutellum Schröder
Prorocentrum triestinum Schiller
Protoperidinium minutum (Kofoid) Loeblich III
Protoperidinium pallidum (Ostenfeld) Balech
Scrippsiella trochoidea (Stein) Balech

BLUE-GREEN ALGAES

Trichodesmium erythraeum Ehrenberg

PHYTOFLAGELLATES

Apedinella spinifera (Thronsen) Thronsen
Chlamydomonas sp.
Dunaliella sp.
Euglena gracilis Klebs
Eutreptiella marina da Cunha
Hilliea fusiformis (Schiller) Schiller
Hilliea marina Butcher
Micromonas pusilla (Butcher) Manton & Parke
Micromonas sp.
Parapedinella sp.
Plagioselmis sp.
Pseudopedinella pyriforme N. Carter
Pseudopedinella tricostata (Rouchijajnen) Thomsen
Pterosperma sp.
Pyramimonas orientalis (McFadden)
 Hill & Wetherbee
Pyramimonas sp.
Rhodomonas sp.
Teleaulax acuta (Butcher) Hill
Tetraselmis gracile (Kylin) Butcher
Tetraselmis sp.

요 약

산호서식지로 알려진 제주도 문섬주변 해역의 식물 플랑크톤의 1차생산력 및 군집동태를 1997년 2월부터 1997년 12월까지 격월 간격으로 파악하였다. 평균수온은 18.5℃였고 5월부터 9월까지 수온약층이 형성되었다. 유광층의 깊이는 평균 33.7 m를 보였다. Chlorophyll a는 0.02-0.92 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 의 범위로 연평균은 0.36 $\mu\text{g} \cdot \ell^{-1}$ 이었고 식물플랑크톤의 현존량은 2×10^3 - 3.9×10^5

cells · l⁻¹의 범위로써 춘계에만 대증식이 나타났다. 분류군별 현존량의 평균 점유율은 돌말류가 총현존량의 약 67.5% 이상, 식물성 편모조류와 와편모조류는 각각 24.3%와 7.1%를 차지하였다. 우점종의 계절변화를 살펴보면 *Chaetoceros socialis* Lauder는 12월부터 4월까지, *Prorocentrum micans* Ehrenberg는 6월에, *Chaetoceros socialis* Lauder는 8월 내해역에서, *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve는 8월 외해역에서, *Skeletonema costatum* (Greville) Gran는 10월에 모든 해역에서 우점하였다. 수층의 1일 1차생산력은 32.3-364.9 mgC · m⁻² · day⁻¹의 범위로 평균 180.7 mgC · m⁻² · day⁻¹이었으며, 연간 1차생산력은 65.97 gC · m⁻² · yr⁻¹으로 추정되었으며 서해 연안역과 남해 연안역보다 낮게 나타났다. Nanoplankton에 의한 1일 1차생산력의 분포는 26.7-268.7 mgC · m⁻² · day⁻¹의 범위로 평균 114.3 mgC · m⁻² · day⁻¹이었으며, 연간 1차생산력은 41.8 gC · m⁻² · yr⁻¹으로 추정되었다. Nanoplankton은 total phytoplankton의 28.0-82.0%(평균 59.4%)의 기여도를 보여 1차생산력에 중요한 공헌을 하고 있음을 알 수 있었다. Nanoplankton의 포화광량(I_k)은 190-1,000 μE · m⁻² · s⁻¹(평균 526.7 μE · m⁻² · s⁻¹)으로 높은 광에서 적응하고 있었다.

참 고 문 헌

- 강연식, 최중기, 정경호, 박용철. 1992. 서해 중동부 연안수역과 경기만에서 일차 생산력과 동화계수에 관한 연구. 한국해양학회지 27: 237-246.
- 기상청. 1998. 기상연보. pp. 128-130.
- 김성수, 고우진, 조영조, 이필용, 전경암. 1998. 1996년 여름철 남해 표층수의 이상저염수 현상과 영양염류의 분포특성. 한국해양학회지 '바다' 3: 165-169.
- 방익찬, 김태희. 1989. 동지나해 해수분포의 계절변화와 해수순환. 제주대 해양연구보고 28: 61-73.
- 서익범. 1990. 제주도 남방 서귀포 연안산 산호의 종 구성과 연직분포. 제주대학교 석사학위논문. 46 pp.
- 신윤근, 심재형, 조준성, 박용철. 1990. 천수만 미세플랑크톤의 상대적 중요성: 종구성, 개체수, 클로로필 및 일차생산력. 한국해양학회지 25: 217-228.
- 이준백, 좌종현. 1990. 제주도 한림항과 성산항 일대 식물플랑크톤의 군집동태. 제주대 해양연구보고 14: 9-24.
- 이준백, 최영찬, 고유봉. 1989. 제주도 해안선 주변 식물플랑크톤의 기초생산. 한국지구과학회지 62-67.
- 이준백, 고유봉, 좌종현. 1990. 제주도 해안선 일대 식물플랑크톤 군집구조 및 동태. 한국조류학회지 5: 159-171.
- 이준백, 좌종현, 고유봉, 최영찬. 1993. 제주도 동부연안역의 생물생태학적 기초연구(II) 우도주변 식물플랑크톤 군집동태와 일차생산력. 한국지구과학회지 14: 458-466.
- 이준백, 고희범, 고유봉, 최영찬. 1995. 제주도 북부연안역의 생물생태학적 기초연구. 함덕해역의 식물플랑크톤동태와 일차생산력. 제주대 해양연구보고 19: 103-113.
- 이준백, 한명수, 양한섭. 1998. 한국 동해 남부 연안생태계 연구 I. 1994년 9월에 있어서의 식물플랑크톤의 군집구조와 1차생산력. 한국수산학회지 31: 45-55.
- 윤양호. 1993. 제주연근해 식물플랑크톤 군집의 계절변동과 기초생산. 제주대 해양연구보고 17: 33-56.
- 윤양호, 노홍길, 김영기. 1990. 제주도 북방 함덕연안 해역에 있어서 춘·하계 식물성 무각편모조류의 동태. 제주대 해양연구보고 14: 1-8.
- 정경호, 박용철. 1988. 서해 경기만의 기초생산력 및 질소계 영양염의 재생산에 관한 연구. 한국해양학회지 23: 194-206.
- 좌종현, 이준백. 2000. 제주도 문섬 산호서식지 주변의 생물생태학적 특성 I. 환경특성과 식물플랑크톤의 군집구조. 한국해양학회지 "바다" 5: 59-69.
- 최영찬, 고유봉, 이준백. 1989. 제주도 해안선주변의 해수특성(1987년 6월-1988년 4월). 한국지구과학회지 10: 54-61.
- 최영찬, 문영석, 고유봉, 이준백. 1991. 제주도 북부연안역의 생물생태학적 기초연구. 제주도 북방 함덕해역의 화학적 특성. 한국지구과학회지 12: 38-45.
- 최영찬, 고유봉, 이준백. 1992. 제주도 남부 연안역의 생물생태학적 기초연구(I). 서귀포주변 연안역의 해수특성. 한국지구과학회지 13: 327-335.
- 최영찬, 이준백, 고유봉. 1994. 제주도 서부 연안역의 생물생태학적 기초연구(I). 고산주변 연안역의 해수특성. 제주대 해양연구보고 18: 39-48.

- Ayukai T. 1995. Retention of phytoplankton and planktonic microbes on coral reefs within the Great Barrier Reef, Australia. *Coral Reefs* **14**: 141-147.
- Banse K. 1976. Rates of growth, respiration and photosynthesis of unicellular algae as related to cell size a review. *J. Phycol.* **12**: 135-140.
- Chung C.S. and Yang D.B. 1991. On the primary productivity in the southern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **23**: 194-206.
- Fabricius K.E, Benayahu Y. and Genin A. 1995. Herbivory in asymbiotic soft corals. *Science* **268**: 90-91.
- Fabricius K.E, Yahel G. and Genin A. 1998. *In situ* depletion of phytoplankton by an azooxanthellate soft coral. *Limnol. Oceanogr.* **43**: 354-356.
- Glynn P.W. 1973. Ecology of a Caribbean Reef. The *Porites* reef flat biotope. II. Plankton community with evidence for depletion. *Mar. Bio.* **22**: 1-21.
- Lindell D. and Post A.F. 1995. Ultraphytoplankton succession is triggered by deep winter mixing in the Gulf of Aqaba (Eilat), Red Sea. *Limnol. Oceanogr.* **40**: 1130-1141.
- Malone T.C. 1971. The relative importance of netplankton and nanoplankton as primary producers in neritic and oceanic tropical waters. *Limnol. Oceanogr.* **16**: 633-639.
- Malone T.C. 1980. Size-Fractionated Primary Productivity of Marine Phytoplankton. In: Primary Productivity in the Sea, edited by Falkowski P.G., Plenum Press, New York. pp.301-319.
- Nybakken J.W. 1997. Marine Biology(4th ed.). Harper Collins College Publ., New York, 462 pp.
- Parsons T.R., Maita Y. and Lalli C.M. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford. 173 pp.
- Shim J.H. 1980. Biological oceanography of the Gamagyang Bay - the Yeoja Bay water system (I). *J. Oceanol. Soc. Kor.* **15**: 89-99.
- Shim J.H. and Lee W.H. 1983. Plankton study in the southeastern sea of Korea(I). Phytoplankton distribution in September, 1981. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **18**: 91-103.
- Shim J.H. and Park Y.C. 1984. Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the southwestern sea of Korea in June, 1980. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **19**: 68-81.
- Shim J.H., Lee W.H. and Bak S.Y. 1985. Studies on the plankton in the southeastern waters of the East Sea (Sea of Japan) (II). Phytoplankton-standing crop, nanofraction and primary production. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **20**: 37-54.
- Shim J.H. and Park Y.C. 1986. Primary productivity measurement using carbon-14 and nitrogenous nutrient dynamics in the southeastern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **21**: 13-24.
- Sorokin Y.I. 1995. Coral Reef Ecology. Springer Verlag Press, Berlin. 465 pp.
- Thronsen J. 1993. The Planktonic Marine Flagellates. In: Marine Phytoplankton, A Guide to Naked Flagellates and Coccolithophorids, edited by Tomas C.R., Academic Press, San Diego. pp. 7-145.
- Tomas C.R. 1996. Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates. Academic Press, San Diego. 598 pp.
- Yahel G., Post A.F., Fabricius K., Marie D., Vaulor D. and Genin A. 1998. Phytoplankton distribution and grazing near coral reefs. *Limnol. Oceanogr.* **43**: 551-563.