

## 제주항 주변 식물플랑크톤의 계절 변화

이준백·신범

제주대학교 해양과학대학 해양학과

### Seasonal Variation of Phytoplankton around Jeju Harbor

Joon-Baek Lee and Bumn Shin

Department of Oceanography, Cheju National University, Jeju-Do, 690-756, Korea

Seasonal variation of phytoplankton community was investigated at inner and outer stations around Jeju harbor from March to December 2000 in terms of standing crops and chlorophyll *a*. Among a total of 171 taxa of phytoplankton identified, diatoms occupied 67.8%, dinoflagellates 15.2% and phytoflagellates 17.0% in species composition. Two diatoms were seasonally most dominant, that is, *Chaetoceros socialis* was predominant in March and October, and *Skeletonema costatum* in May, October and December. Mean standing crops were higher in inner stations with  $5.1 \times 10^6$  cells  $l^{-1}$  than in outer ones with  $3.9 \times 10^4$  cells  $l^{-1}$ . Chlorophyll *a* concentration was also three times higher in inner stations than outer ones. Water temperature and salinity exhibited little difference seasonally in vertical distribution, but they were different between inner and outer stations. Higher water temperature and lower salinity prevailed in the inner station throughout the season. It suggests that the inner harbor has no good circulation and is affected directly by freshwater inflow from the neighboring stream. That accelerates the eutrophication of the inner harbor and thus sometimes causes high concentrations of phytoplankton in a small red-tide scale.

**Key words** : phytoplankton, seasonal variation, Jeju harbor

### 서론

해양의 저차 영양단계는 많은 미세 생물군에 의해 서로 먹이망으로 연결되어 있으며 이들의 상호관계는 에너지와 물질의 전달체계를 통해 생태계의 동적인 순환과 기능이 유지된다. 그러므로, 해양환경에 있어서 생산자인 식물플랑크톤 군집구조와 생산량, 그리고 그 분포의 파악은 해양 생태계의 이해와 해양의 생물자원 평가에 있어 필수적으로 요구된다.

제주도 항만 해역은 주변 해류와 연중 계속되는 용

천수 및 강우기의 육수유입으로 인한 섬 특유의 독특한 환경 내에 위치하고 있다 (양과 최, 1999). 또한 이로 인한 항구 내외의 식물플랑크톤 군집 변화는 항내의 부영양화 및 여름철 저염수의 영향 등의 해양 환경변화에 따라 여러 가지 계절적 변화를 보일 것으로 기대된다. 지금까지 제주항이 위치한 제주도 북부 연안의 식물플랑크톤 연구 (이, 1989; 윤, 1993; 이등, 1990, 1995, 1998)는 비교적 활발히 이루어졌다. 그러나 제주도 항만의 중요성에 비추어 볼 때 항만주변 해역의 식물플랑크톤 연구는 몇몇 항구를 제외하고는 미비한 실정이다 (이와 좌, 1990).

본 연구는 제주도 북부 연안역의 대표적인 제주항 주변해역의 식물플랑크톤 군집의 종조성과 현존량, 우점종, chlorophyll *a*의 계절적 변화와 해양환경 변화 특성을 내항과 외항의 차이를 중심으로 조사하여 제주도 항만 해역 연구의 기초자료를 얻고자 실시되었다.

### 재료 및 방법

조사정점은 해양환경 변화가 예상되는 제주항 주변해역의 7개 정점을 선정하였으며 내항과 외항, 그리고 표층과 저층으로 구분하였고, 조사는 식물플랑크톤의 계절적 변화를 고려하여 2000년 3월 (동계), 5월 (춘계), 7월 (하계), 10월 (추계), 12월 (동계)에 실시되었다 (Fig 1).

식물플랑크톤 분석과 chlorophyll 측정을 위한 시료

의 채집은 각 정점의 표층과 저층에서 Niskin 채수기로 채수하였다. 정량분석은 선상에서 Lugol용액으로 고정된 뒤 침전법에 의해 농축시켜 균일하게 섞은 후 Sedgwick-Rafter 계수판에서 계수하여 현존량 (단위체적당 세포수, cells  $l^{-1}$ )으로 표시하였다. 한편 정성분석은 농축된 재료 중 소량을 취하여 고배율 ( $\times 400$ )하에서 종의 동정·분류를 실시하였다. 식물플랑크톤의 계수와 동정은 규조류, 와편모조류, 식물편모조류를 대상으로 분석하였다. chlorophyll 량은 90% aceton으로 색소를 추출한 뒤 spectrophotometer (Shimadzu UV-1201)로 측정하여  $\mu g\ chl-a/l$ 로 표시하였다.

### 결과 및 고찰

#### 해양환경 특성

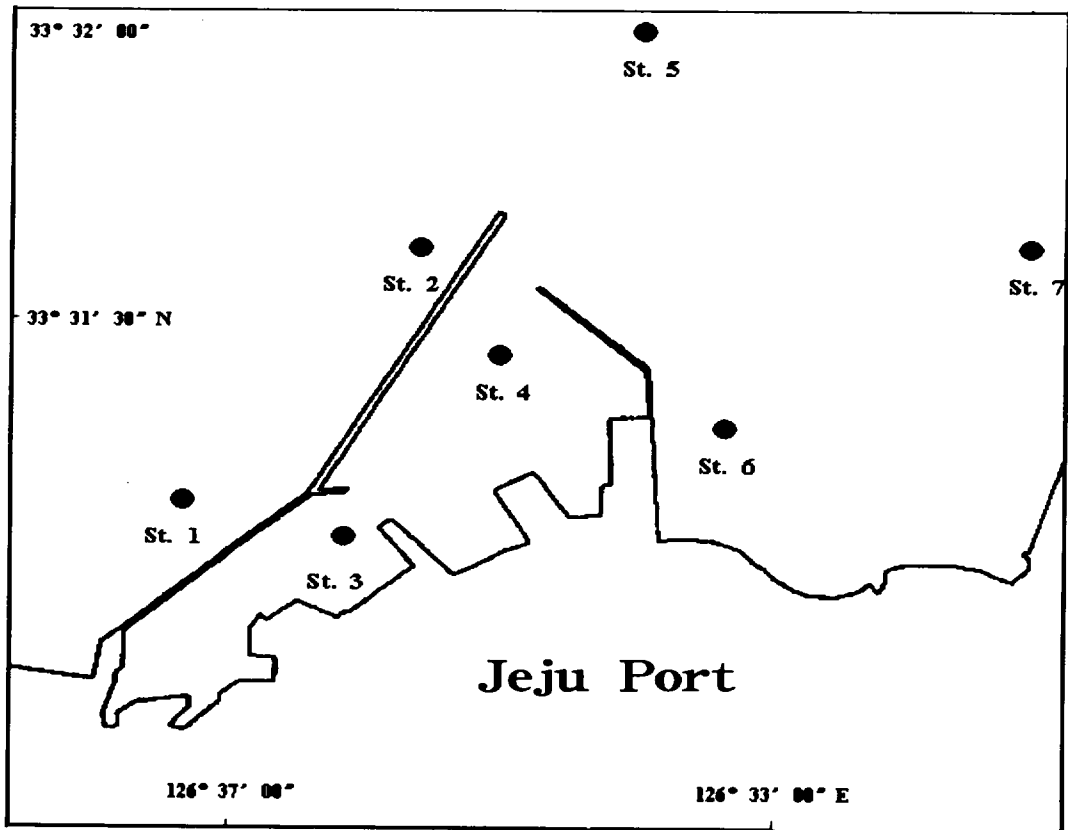


Fig. 1. Map showing sampling stations around Jeju Harbor.

제주항 주변 식물플랑크톤의 계절 변화

Table 1. Water temperature (°C), salinity (psu) and pH around Jeju harbor from March to December 2000

Station	Layer	Water temperature (°C)					Average
		Mar	May	July	Oct	Dec	
St. 1	surface	-	14.7	20.3	23.9	17.6	19.0
	bottom	-	14.2	19.3	23.9	17.8	
St. 2	surface	-	14.5	20.3	24.0	18.0	18.9
	bottom	-	13.9	18.4	23.6	18.2	
St. 3	surface	-	16.0	21.4	23.5	16.2	19.1
	bottom	-	15.3	19.8	23.2	17.2	
St. 4	surface	13.4	15.7	21.2	23.9	17.4	18.1
	bottom	13.5	14.4	19.9	23.4	17.8	
St. 5	surface	13.6	15.2	21.0	23.8	-	17.8
	bottom	13.6	14.3	17.9	23.3	-	
St. 6	surface	13.5	15.2	20.4	24.0	-	18.0
	bottom	13.6	14.4	19.3	23.7	-	
St. 7	surface	13.6	15.8	20.1	23.9	-	17.9
	bottom	13.5	14.4	18.3	23.7	-	
Average		13.5	14.9	19.8	23.7	17.5	

Station	Layer	Salinity (psu)					Average
		Mar	May	July	Oct	Dec	
St. 1	surface	-	28.0	32.8	33.6	33.8	32.8
	bottom	-	33.2	33.4	33.4	34.2	
St. 2	surface	-	32.8	33.1	33.3	34.2	33.5
	bottom	-	33.4	33.6	33.5	34.3	
St. 3	surface	-	28.9	32.0	32.5	27.2	31.4
	bottom	-	32.0	33.4	32.6	32.8	
St. 4	surface	33.8	32.6	32.7	32.3	33.8	33.3
	bottom	34.2	33.6	33.5	32.7	34.1	
St. 5	surface	33.1	33.3	33.2	33.6	-	33.6
	bottom	34.5	33.5	33.7	33.6	-	
St. 6	surface	34.5	33.5	33.2	33.6	-	33.7
	bottom	34.5	33.5	33.5	33.6	-	
St. 7	surface	34.4	33.2	33.4	31.3	-	33.4
	bottom	34.4	33.4	33.8	33.6	-	
Average		34.2	32.5	33.2	33.1	33.1	

Station	Layer	pH				Average
		Mar	July	Oct	Dec	
St. 1	surface	7.90	7.75	8.14	7.93	7.99
	bottom	8.08	7.93	8.14	8.03	
St. 2	surface	7.75	7.93	8.08	8.16	8.00
	bottom	7.81	7.97	8.13	8.14	
St. 3	surface	7.82	7.93	8.19	8.05	8.02
	bottom	7.94	7.98	8.18	8.08	
St. 4	surface	7.97	8.13	8.14	8.20	8.09
	bottom	7.94	8.00	8.13	8.21	
St. 5	surface	7.81	8.13	8.17	-	8.03
	bottom	7.84	8.05	8.18	-	
St. 6	surface	8.10	7.98	8.17	-	8.09
	bottom	8.10	8.00	8.19	-	
St. 7	surface	8.09	8.11	8.14	-	8.12
	bottom	8.11	8.11	8.16	-	
Average		7.95	8.00	8.15	8.10	

수온은 13.4~24.0°C (평균 18.4°C)의 범위를 나타내었다 (Table 1). 월별 평균수온은 3월에 13.5°C로 가장 낮았고 10월에 23.7°C로 가장 높았으며, 표·저층의 수온 차이는 3월에 0.1°C내외로 매우 미약하여 수직 혼합을 보인 반면, 7월에는 1°C 이상의 차이를 보여 여름철 수온약층 형성을 나타내고 있었다. 정점별 평균 수온은 항내 안쪽의 정점 3에서 평균 19.1°C로 가장 높았고, 항외 정점 5에서 17.8°C로 가장 낮았다. 염분은 27.2~34.5 psu (평균 33.1 psu)의 범위를 나타내었다 (Table 1). 월별 평균염분은 5월에 32.5 psu로 가장 낮았으며 3월에 34.2 psu로 가장 높았으며, 정점별 평균은 내항의 가장 안쪽인 정점 3에서 31.4 psu로 가장 낮았고, 외항의 정점 6에서 33.7 psu로 가장 높았다. pH 변화는 7.75~8.21의 범위를 나타내었다 (Table 1). 월별 평균 pH는 5월에 7.95로 가장 낮았고, 10월에 8.15로 가장 높았으며 정점별 평균은 정점 1에서 7.99로 가장 낮았고, 정점 7에서 8.12로 가장 높은 분포를 보였다.

조사해역의 수온과 염분은 제주도 북부연안 용두암 해역 (최와 정, 1989)의 13.7~25.8°C와 31.19~34.18 psu, 삼양 화력발전소 주변해역 (이 등, 1998)의 13.0~29.3°C와 29.5~34.9 psu와 비교하여 유사한 계절 분포를 보였다. 그러나 조사기간중 항내와 항외는 뚜렷한 해양환경의 차이를 보이고 있었으며 항내는 주변 산지천의 육수유입과 도시 하수 등의 유입으로 인한 부영양화 경향을 보이고 있었다 (강과 오, 1999; 양과 최, 1999).

식물플랑크톤 종조성

조사기간 중 식물플랑크톤 총 출현종수는 171종 (70속 154종 17미동정종)으로 분류되었다. 분류군별로 보면 규조류가 116종 (43속 105종 11미동정종), 와편모조류가 26종 (11속 21종 5미동정종), 식물편모조류는 29종 (16속 28종 1미동정종)으로써 구성비는 규조류가 67.8%, 식물편모조류가 17.0%, 와편모조류가 15.2%를 차지하였다. 정점별로는 정점 5에서 8종으로 가장 적었고, 정점 2에서 28종으로 가장 많았다. 월별 및 정점별 출현빈도가 가장 높은 종은 *Skeletonema costatum*이었다. 제주도 항구해역의 출현종수는 한림항 해역에서 112종과 성산항 해역에서 85종 (이와 좌, 1990)이 보고되었으며, 제주도 북부연안역의 다른 해역과 비교하면 탐동연안역에서 123종, 북부연안역에서 132종, 삼양 화력발전소 주변해역에서 160종으로 보고되어 제주항부근 해역은 제주도 주변해역에서 높은 출현종수를 보인 해역중 하나라고 할 수 있다.

우점종

현존량의 30%이상을 점유하고 있는 종을 우점종으로 선정하면 모두 8종으로써 규조류가 *Chaetoceros socialis*, *Ch. holsaticus*, *Paralia sulcata*, *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* 등 5종, 와편모조류가 *Prorocentrum dentatum* 1종, 은편모조류가 *Hillea marina*, *H. fusiformis* 등 2종이었다 (Table 2). 이들의

Table 2. Seasonal succession of dominant species in the study area (○ 30%~50% of dominantce; ● 50%)

Month Species / Station	Mar				May				July				Oct				Dec					
	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4
<i>Chaetoceros socialis</i>	●	●												○	○	●	●	●				
<i>Chaetoceros holsaticus</i>				○																		
<i>Paralia sulcata</i>																						
<i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i>																						○
<i>Skeletonema costatum</i>					●	●	●	●	●	●	●								●		○	●
<i>Prorocentrum dentatum</i>																						
<i>Hillea marina</i>																						
<i>Hillea fusiformis</i>																						●

제주항 주변 식물플랑크톤의 계절 변화

Table 3. Standing crops (cells l<sup>-1</sup>) of phytoplankton around Jeju Harbor from March to December 2000

Station	Layer	Mar	May	July	Oct	Dec
St. 1	surface	-	68.720	2.453	42.677	17.313
	bottom	-	70.241	6.519	56.087	17.192
St. 2	surface	-	34.056	5.404	58.672	25.289
	bottom	-	57.177	1.567	80.120	12.523
St. 3	surface	-	31.273.704	12.563	5.374.456	9.545
	bottom	-	22.408.962	12.316	10.916.483	91.429
St. 4	surface	24.672	1.959.724	50.144	6.343.170	76.247
	bottom	19.508	48.351	3.982	3.145.105	40.017
St. 5	surface	159.098	64.315	3.102	89.899	-
	bottom	9.415	96.932	1.873	27.866	-
St. 6	surface	12.071	206.745	4.884	151.568	-
	bottom	15.877	127.902	2.297	33.069	-
St. 7	surface	-	44.357	1.711	25.082	-
	bottom	6.718	33.634	4.673	18.728	-
Surface average		18.614	4.807.374	11.466	1.726.504	32.098
Bottom average		12.880	3.263.314	4.747	2.039.637	40.290
Total average		14.260	4.035.344	8.106	1.883.070	36.194

월별 천이를 보면 3월에 *Chaetoceros socialis* 가 50% 이상, *Chaetoceros holsaticus*가 30~50%를 우점하였고, 5월에 *Skeletonema costatum* 단일종에 의한 전 정점에서 50% 이상 우점하였다. 7월은 *Paralia sulcata*, *Prorocentrum dentatum*, *Hillea marina* 등이 항내와 항외에서 50%이상 우점하였으며, 10월은 *Chaetoceros socialis*가 대부분의 정점에서, 특히 항내에서 50% 이상 점유하였고 항외 일부 정점에서는 *Skeletonema costatum*, *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*가 우점하였다. 12월에는 *Skeletonema costatum*와 *Hillea fusiformis*가 항내 정점에서 50% 이상 우점하였다. 이 중 *Chaetoceros socialis*는 3월과 10월에 항 내외에서 50%이상 우점하였는데 이 종은 제주도 북부해역에서 춘계에 우점을 보이는 종으로 보고되었으며 (이 등, 1990), *Skeletonema costatum*은 5월 전 정점과 10월, 12월에 항외 정점에서 우점을 보였는데 이 종도 역시 한림항과 성산항의 주요 우점종으로 보고된 종이다 (이와 좌, 1990).

현존량 동태

식물플랑크톤의 현존량은  $1.5 \times 10^3 \sim 3.1 \times 10^7$  (평균

$1.4 \times 10^6$  cells l<sup>-1</sup>)의 범위를 나타내었으며, 월별 평균 현존량은 3월에  $1.4 \times 10^4$  cells l<sup>-1</sup>로 가장 낮았고, 5월에  $4.0 \times 10^6$  cells l<sup>-1</sup>로 가장 높은 분포를 보였다 (Table 3). 정점별 평균 현존량은 정점 2에서  $3.4 \times 10^4$  cells l<sup>-1</sup>로 가장 낮았고, 항내의 정점인 정점 3에서  $8.7 \times 10^6$  cells l<sup>-1</sup>로 가장 높은 분포를 보였다. 해역별 평균을 비교하면 항내 정점 평균이  $5.1 \times 10^6$  cells l<sup>-1</sup>로 항외의 정점 평균  $3.9 \times 10^4$  cells l<sup>-1</sup>보다 훨씬 높은 분포를 나타내었다. 층별 평균 현존량을 보면 표층이  $1.7 \times 10^6$  cells l<sup>-1</sup>로 저층의  $1.3 \times 10^6$  cells l<sup>-1</sup>보다 다소 높은 분포를 보였다. 본 조사해역의 현존량을 한림과 성산항 해역의 현존량과 비교하면 한림항은  $3.2 \times 10^3 \sim 1.9 \times 10^6$  cells l<sup>-1</sup>, 성산항이  $6.4 \times 10^3 \sim 1.7 \times 10^6$  cells l<sup>-1</sup>의 범위(이와 좌, 1990)로 제주항의 현존량이 훨씬 많았는데 이는 항의 규모면에서 크고, 주변의 도시규모 또한 큰 차이를 보이기 때문이라고 생각한다. 제주도 북부의 다른지역과 비교하면 탐동 연안해역의  $1.8 \times 10^3 \sim 0.5 \times 10^6$  cells l<sup>-1</sup> (이, 1989), 함덕해역의  $10^3 \sim 10^5$  cells l<sup>-1</sup> (이 등, 1995), 삼양화력발전소 주변해역의  $7.1 \times 10^3 \sim 1.3 \times 10^5$  cells l<sup>-1</sup> (이 등, 1998) 등의 현존량 보다도 높은 분포를 보였다. 따라서 제주항 주변해역의 식물플랑크톤 현존량은 이미 보고된 제주도 다른 항

Table 4. Chlorophyll *a* concentration ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) of phytoplankton around Jeju Harbor from March to December 2000

Station	Layer	Mar	May	July	Oct	Dec
St. 1	surface	-	0.32	0.10	0.31	0.10
	bottom	-	0.22	0.21	0.22	0.10
St. 2	surface	-	0.22	0.10	0.21	0.41
	bottom	-	0.34	0.21	0.17	0.32
St. 3	surface	-	0.34	0.20	2.49	0.21
	bottom	-	1.68	0.21	2.15	0.31
St. 4	surface	0.10	1.11	0.10	0.51	0.54
	bottom	0.10	0.22	0.21	0.54	0.44
St. 5	surface	0.22	0.44	0.10	0.55	-
	bottom	0.10	0.32	0.10	0.41	-
St. 6	surface	0.10	0.44	0.22	0.77	-
	bottom	0.22	0.22	0.21	0.78	-
St. 7	surface	0.10	0.56	0.10	0.44	-
	bottom	0.10	0.22	0.10	0.66	-
Surface average		0.13	0.49	0.13	0.75	0.32
Bottom average		0.13	0.46	0.18	0.71	0.29
Total average		0.13	0.48	0.16	0.73	0.30

구 주변과 북부 연안역에 비해 매우 높은 분포를 나타내었는데, 이것은 제주항 주변해역이 제주도의 어떤 해역에 비하여 부영양화가 심화되고 있는 것을 반영하고 있다고 사료된다.

### Chlorophyll *a* 계절 변화

조사해역의 chlorophyll *a*량은 0.10~2.49 $\mu\text{g l}^{-1}$  (평균 0.36  $\mu\text{g l}^{-1}$ )의 범위로서 월별 평균 분포는 3월에 0.13  $\mu\text{g l}^{-1}$ 으로 가장 낮았고 10월에 0.73  $\mu\text{g l}^{-1}$ 으로 가장 높은 분포를 보였다 (Table 4). 정점별 평균 분포를 보면 정점 1이 0.20  $\mu\text{g l}^{-1}$ 으로 가장 낮았고, 정점 3에서 0.95  $\mu\text{g l}^{-1}$ 로 가장 높은 분포를 보였다. 해역별 평균분포를 보면 항내가 0.67  $\mu\text{g l}^{-1}$ 로 항외의 0.28  $\mu\text{g l}^{-1}$ 보다 훨씬 높은 분포를 나타냈다. 층별 평균 분포를 보면 표층이 0.37  $\mu\text{g l}^{-1}$ 로 저층의 0.35  $\mu\text{g l}^{-1}$ 보다 다소 높은 분포를 보였다. 제주도 다른 항구와 비교하면 한림항의 표층 0.02~2.44  $\mu\text{g l}^{-1}$ , 저층 0.04~2.59  $\mu\text{g l}^{-1}$ , 그리고 성산항의 표층 0.06~4.47  $\mu\text{g l}^{-1}$ , 저층 0.13~5.39  $\mu\text{g l}^{-1}$  (이와 좌, 1990) 보다는 낮은 분포를 보이고 있다. 그러나 제주도 북부연안역의 삼양 화력발전소 주변해역의 0.04~0.77  $\mu\text{g l}^{-1}$  (이 등, 1998) 범위보다는

높은 분포를 보였다.

### 요 약

제주항 주변해역의 식물플랑크톤 계절변화를 2000년 3월 부터 12월 까지 조사하였다. 출현종수는 제주도 다른 주변해역보다 많은 종수가 출현하고 있었으며 특히 *Chaetoceros socialis*가 3월과 10월, 그리고 *Skeletonema costatum*가 5월, 10월, 12월에 걸쳐 우점하였다. 평균 현존량은 항내 정점이  $5.1 \times 10^6 \text{ cells l}^{-1}$ 로 항외 정점의  $3.9 \times 10^4 \text{ cells l}^{-1}$ 보다 훨씬 높은 분포를 보였다. chlorophyll *a* 량 역시 항내가 항외 보다 3배 정도 높았다. 수온과 염분의 분포는 표층과 저층의 차이가 미약하여 수직 혼합이 활발한 것으로 생각되며, 항내 정점에서 높은 수온과 낮은 염분 분포를 보이고 있었다. 이와 같은 결과로 보면 제주항 주변해역은 인근 하천수 유입과 도시하수의 영향으로 항내의 부영양화가 심화되고 있으며 이러한 이유로 인하여 일시적인 소규모의 적조 현상이 항내 정점을 중심으로 형성되고 있다고 생각된다.

참고문헌

- 강봉조·오덕철. 1999. 제주지역 항·포구 해수의 세균학적 및 화학적 수질 분석. 제주대 해양연구소 연구보고, 23: 39-50.
- 양성기·최찬문. 1999. 제주항의 해양수리학적 특성. 제주대 해양연구소 연구보고, 23: 9-21.
- 윤양호. 1993. 제주도 연근해 식물플랑크톤 군집의 계절변동과 기초생산. 제주대 해양연구소 연구보고, 17: 33-56.
- 이준백. 1989. 제주도 북방 탐동연안역 식물플랑크톤 군집의 종조성과 동태. 제주대 해양연구소 연구보고, 13: 35-45.
- 이준백·좌종현. 1990. 제주도 한림항 성산항 일대 식물플랑크톤의 군집동태. 제주대 해양연구소 연구보고, 14: 9-24.
- 이준백·고유봉·좌종현. 1990. 제주도 해안선주변 식물플랑크톤 군집의 구조와 동태. 한국조류학회지, 5: 159-171.
- 이준백·고형범·고유봉·최영찬. 1995. 제주도 북부 연안역의 생물생태학적 기초연구. 제주대 해양연구소 연구보고, 19: 103-113.
- 이준백·이무형·강동우. 1998. 북제주 삼양화력발전소 주변해역의 식물플랑크톤 군집동태와 1차생산력. 제주대 해양연구소 연구보고, 22: 133-148.
- 최영찬·정용진. 1989. 제주도 해안선 주변 1개정점(용두암 근처)에서 해수 특성의 일주 변화. 제주대 해양연구소 연구보고, 13: 27-33.