

북제주 삼양화력발전소 주변해역의 식물플랑크톤 군집동태와 1차생산력

이준백·이무형·강동우
제주대학교 해양과학대학 해양학과

Phytoplankton Community Dynamics and Primary Productivity around Samyang Thermal Power Plant in the Northern Cheju, Korea

Joon-Baek Lee, Moo-Hyung Lee and Dong-Woo Kang
Department of Oceanography, Cheju National University, Cheju-do 690-756, Korea

The community dynamics and primary productivity of phytoplankton have been monitored at six stations around Samyang Thermal Power Plant in the northern Cheju from March to November 1998. Water temperature and salinity varied with the range of 13.0~29.3°C and 29.5~34.9‰, respectively. The concentrations of total inorganic nitrogen and phosphate phosphorus ranged from 1.17 to 57.70 μM and from 0.05 to 3.19 μM , respectively, and that of silicate silicon from 6.12 to 52.55 μM . A total of 160 taxa of phytoplankton, representing 62 genera, 133 species, 8 varieties, 4 forma and 15 unidentified species, were identified. Diatoms occupied 78.1% in terms of species composition, while dinoflagellates, phytoflagellates and silicoflagellates 16.9%, 3.7% and 1.3%, respectively. Three major dominant diatoms were seasonally succeeded in the whole study area, such as *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve in winter, *Chaetoceros socialis* Lauder in spring, *Bacteriastrium delicatulum* Cleve in summer. Phytoplankton standing crops varied from 7.1×10^3 to 1.3×10^5 cells l^{-1} and chlorophyll *a* concentrations ranged from 0.04 to 0.77 $\mu\text{g Chl } a \text{ } l^{-1}$. Daily primary productivity in the water column showed the range of 6.3~1166.1 $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ within the euphotic layer, and annual primary productivity represented lower value at the inshore with 67.9 $\text{g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ than at the offshore with 229.6 $\text{g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$. Based upon the analysis, it was unable to find out any apparent effects on phytoplankton community by thermal effluents discharged from the power plant during the study period.

Key words : phytoplankton, community dynamics, standing crops, primary productivity, thermal effluent, thermal power plant, Cheju Island

서론

1970년 이후 한반도 연안역에서는 도시화와 급속히 산업사회로 전환되면서 증가되는 전력수급을 위

하여 많은 화력발전소와 원자력 발전소가 건립되어 왔다. 이러한 발전소의 건립은 해양 환경에 온배수를 배출하여 급격한 온도변화를 초래할 뿐 아니라 동시에 해양 생태계에도 영향을 미치고 있으며 수중에 부유하는 플랑크톤까지도 생물학적인 손상을

입는 것으로 알려져 있다 (Barnett, 1972; Laws, 1981). 지금까지 우리나라 주변의 온배수 배출해역의 식물플랑크톤 조사는 원자력 발전소 주변해역에서 주로 행하여 졌으며 (유·이, 1982; 조, 1989; 심 등, 1991; 심·여, 1992; 여·심, 1992, 1993), 또한 화력발전소 주변해역에서도 조사되었다 (허 등, 1978; 김 등, 1993; 이·이, 1997).

한편 근래 들어 제주도에서도 도시화와 산업화의 영향으로 인하여 많은 전력이 필요함에 따라 삼양과 화순지역에 화력발전소의 증설이 시행 중에 있다. 제주도 주변해역은 여러 종류의 외양수와 해안선에서 유입되는 용천수 및 육상수의 영향을 받는 섬특유의 환경을 이루고 있으며 이에 대한 해양연구는 비교적 많이 이루어졌지만, 화력발전소 주변해역의 환경변화에 따른 해양생태계영향에 관한 체계적인 연구는 극히 미비한 실정이다. 제주 주변해역의 식물플랑크톤에 관한 연구는 주로 연안역과 외양역의 군집 동태에 관한 생태학적인 연구 (이,

1979; 고·전, 1984; Shim and Park, 1984; 전 등, 1986; 이, 1989; 이·좌, 1990; 이 등, 1990, 1991, 1993, 1995b; 윤 등, 1990, 1991, 1992)와 ^{14}C 방법을 이용한 1차생산력 측정에 초점을 맞추어 왔으나 (이 등, 1989, 1993, 1995b; Chung and Yang, 1991), 연안역의 발전소 온배수 배출에 관한 식물플랑크톤의 생태학적 연구는 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구는 온배수 배출해역으로 추정되는 제주도 북부 삼양 화력발전소 주변해역에서의 해양환경, 식물플랑크톤의 군집구조 및 동태 그리고 1차생산력의 계절적 변화를 조사하여 기존의 화력발전소 주변해역의 식물플랑크톤 결과와 비교분석하였다.

재료 및 방법

조사는 1998년 3월 4일 (동계), 5월 21일 (춘계),

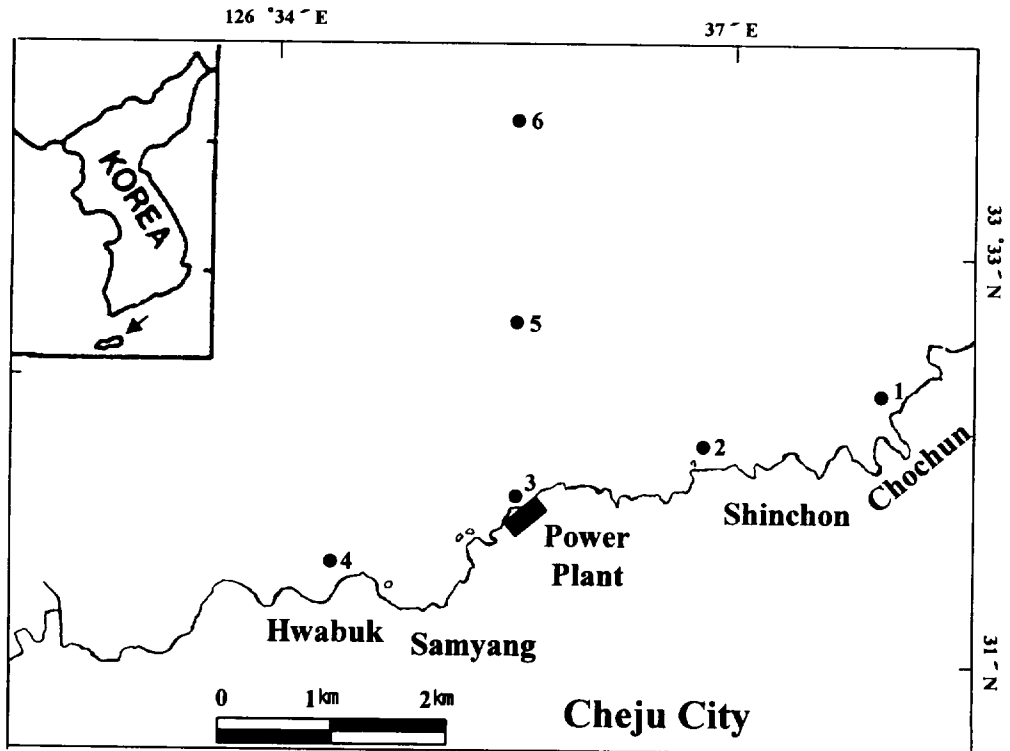


Fig. 1. A map showing sampling stations around Samyang Thermal Power Plant in the northern Cheju.

8월 17일 (하계), 11월 3일 (추계) 등 4계절에 걸쳐 제주도 북부 연안역에 위치하고 있는 삼양 화력발전소를 중심으로 내해역에 4개 정점 (정점 1, 2, 3, 4)과 해안선으로부터 정북방향인 일직선상의 외해역에 2개 정점 (정점 5, 6)을 선정하여 해양환경특성과 식물플랑크톤의 정량 및 정성분석, chlorophyll *a* 량, 1차생산력을 조사하였다 (Fig. 1). 식물플랑크톤 채집은 Niskin 채수기를 이용하였으며 각 정점의 표·저층에서 1 liter씩을 채수한 후 Lugol 용액으로 고정시켜 분석시료로 사용하였다. 정량분석은 침전법에 의하여 농축된 재료를 균일하게 섞은 후 1 ml을 Sedgwick-Rafter counting chamber에 넣고 전체 세포수를 계수한 뒤 cells l^{-1} 로 환산하여 현존량으로 표시하였다. 한편 정성분석은 농축된 재료중 소량을 취하여 고배율 (x400-1,000)하에서 심 (1994), 이 등 (1995a), Hasle and Syvertsen (1997), Steidinger and Tangen (1997), Thronsen (1997) 등을 참고하여 종의 동정·분류 및 동종이명을 정리하였다. 식물플랑크톤의 계수와 동정은 규조류, 와편모조류, 규질편모조류, 식물편모조류를 대상으로 분석하였다. 군집의 종다양성 지수는 Shannon-Wiener (1963)의 공식에 의해 계산하였다. Chlorophyll *a* 량은 각 정점의 표층과 저층 해수를 각각 1.5 liter씩 GF/C filter (Whatman, 47mm)로 여과한 후 90% acetone에 의해 냉암소에서 색소를 추출한 뒤 spectrophotometer (Shimadzu, UV-1201)로 측정하였고 Parsons et al. (1984)의 식에 의해 계산하여 $\mu gChl\ a\ l^{-1}$ 으로 표시하였다. 1차생산력은 ^{14}C 를 이용하여 Parsons et al. (1984)의 방법으로 정점 3과 5에서 측정하였으며 현장에서 80 ml cap test tube에 해수를 채워 2 $\mu Ci\ NaH^{14}CO_3$ 를 주입한 뒤 현장수온의 자연광하에서 약 2시간 정도 배양하였고 이 등 (1998)에 기재된 순서에 따라 실험하여 계산하였다. 조사해역의 물리적 특성으로 수온, 염분, 투명도 (Secchi-disk) 등은 실측하였으며 영양염류는 Standard method (APHA et al., 1994)로 측정된 제주대학교 해양화학 실험실의 자료를 인용하였고 강우량 자료는 제주 기상대의 자료를 인용하였다.

결과 및 고찰

해양환경 특성

수온은 13.0~29.3°C (평균 18.8°C)의 범위를 나타내었다 (Table 1). 계절별로는 동계에 평균 14.1°C로 가장 낮았으며 표·저층의 수온 차이가 0.0~0.4°C로 매우 미약하여 수직혼합이 활발이 진행되고 있었으며 하계는 평균 24.4°C로 가장 높았고 수심이 20m 이상인 정점 3, 5, 6에서는 강한 수온약층이 형성되고 있었다. 정점별 변화는 내해역의 표층 수온이 년평균 19.7°C로 외해역의 년평균 20.1°C보다 낮았으며 해역간 표층 수온변화도 동계에만 내해가 외해보다 0.1°C 높을 뿐 춘계에 0.2, 하계에 1.4, 추계에 0.1°C 가량 외해역이 내해역 보다 더 높아 조 등 (1989)이 원자력 발전소 주변해역의 온배수의 영향으로 보고한 해수온도의 2~3°C 증가수준에 못 미치고 있어 조사해역의 온배수 영향은 미약한 것으로 생각된다. 층별 년평균 수온분포는 표층 19.8°C, 저층 17.7°C를 보이고 있었으며 년중 층별 수온변동 폭은 표층이 15.5°C이고 저층이 14.0°C로 저층 보다 표층에서의 수온 변화가 컸다. 한편 염분은 29.5~34.9‰ (평균 33.1‰)의 범위를 나타내었다 (Table 1). 계절별로는 하계에 평균 31.4‰로 가장 낮았으며 표·저층간 염분차이는 0.6~1.9‰로써 염분약층을 형성하고 있었다. 이러한 현상은 11월로 접어들면서 수직혼합으로 인해 차츰 약해지고 있다. 동계 (평균 34.1‰)와 춘계 (평균 34.8‰)에 높은 염분 분포를 나타내고 있으며 이시기에 비교적 고염인 대마난류가 외해역에서 내해역으로 강하게 접근하고 있는 것으로 판단된다.

해수의 화학적 특성을 나타내는 무기 영양염류 중 총 무기질소의 농도는 1.17~57.70 μM (평균 8.9 μM)의 범위로 하계에 가장 높은 농도 (평균 14.18 μM)를 나타내고 있으며 춘계에 가장 낮은 농도 (평균 4.29 μM)를 나타내고 있다 (Table 1). 정점간 범위는 5.82 μM (정점 6)~ 15.17 μM (정점 1)로써 내해역에서 년평균 10.23 μM 으로 외해역 (년평균 6.25 μM) 보다 높은 분포를 보이고 있으며 식물플랑크톤 현존량 및 chlorophyll *a* 량과

Table 1. Environmental parameters around Samyang Thermal Power Plant in the northern Cheju from March to November, 1998.

Date : 1998. 3. 4.

Station	Layer	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity (‰)	Total-Nitrogen (μM)	Phosphate-Phosphorus (μM)	Silicate (μM)
1	Surface		15.0	33.7	57.70	0.63	41.40
	Bottom	15	15.0	34.1	12.25	0.28	8.86
2	Surface		14.0	33.9	8.82	0.31	8.78
	Bottom	11	14.0	34.1	4.98	0.34	9.51
3	Surface		13.8	34.0	7.61	-	14.98
	Bottom	24	14.0	34.1	6.58	0.31	6.36
4	Surface		13.8	34.1	7.86	0.47	6.12
	Bottom	13	13.8	34.1	5.24	0.22	7.81
5	Surface		14.1	34.2	7.11	0.34	15.06
	Bottom	54	13.7	34.2	5.70	0.41	8.30
6	Surface		14.1	34.2	4.36	0.25	11.60
	Bottom	65	14.1	34.2	5.07	0.25	13.86
Average			14.1	34.1	11.11	0.32	12.72

Date : 1998. 5. 21.

Station	Layer	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity (‰)	Total-Nitrogen (μM)	Phosphate-Phosphorus (μM)	Silicate (μM)
1	Surface		18.5	34.7	5.76	0.38	17.77
	Bottom	15	18.2	34.7	2.89	0.45	12.15
2	Surface		18.4	34.8	2.67	0.31	16.75
	Bottom	11	18.0	34.8	5.36	0.41	11.36
3	Surface		18.3	34.8	5.27	0.21	16.13
	Bottom	24	18.1	34.8	4.03	0.41	9.20
4	Surface		18.7	34.7	4.35	0.17	11.02
	Bottom	13	18.5	34.7	4.98	0.59	6.25
5	Surface		18.3	34.7	4.50	0.41	17.43
	Bottom	54	17.8	34.9	4.47	0.52	13.00
6	Surface		19.1	34.7	1.70	0.31	7.15
	Bottom	65	18.0	34.9	5.51	0.41	23.85
Average			18.3	34.8	4.29	0.38	13.50

Date : 1998. 8. 17.

Station	Layer	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity (‰)	Total-Nitrogen (μM)	Phosphate-Phosphorus (μM)	Silicate (μM)
1	Surface		27.5	30.7	4.21	0.05	19.08
	Bottom	15	26.7	32.2	21.73	0.05	14.26
2	Surface		27.0	31.4	34.25	0.53	12.74
	Bottom	11	26.3	30.8	10.17	0.27	17.43
3	Surface		27.0	32.0	27.25	0.32	18.51
	Bottom	24	17.0	33.5	14.12	0.64	19.71
4	Surface		27.8	30.3	5.91	0.05	15.34
	Bottom	13	27.0	32.2	9.46	0.11	15.97
5	Surface		28.0	31.2	10.74	0.42	26.94
	Bottom	54	16.5	32.8	14.98	0.90	13.63
6	Surface		29.3	29.5	2.63	0.11	19.46
	Bottom	65	13.0	30.3	14.66	0.69	20.35
Average			24.4	31.4	14.18	0.34	17.79

(Continued)

Date : 1998. 11. 3.

Station	Layer	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity (‰)	Total-Nitrogen (μM)	Phosphate-Phosphorus (μM)	Silicate (μM)
1	Surface		19.3	31.1	10.64	0.32	52.55
	Bottom	15	18.5	31.9	6.14	0.85	26.12
2	Surface		18.8	31.7	8.09	0.96	18.89
	Bottom	11	18.5	31.9	5.74	0.27	22.69
3	Surface		18.8	31.3	5.39	0.39	27.76
	Bottom	24	18.7	31.9	4.91	0.27	22.19
4	Surface		18.8	31.8	9.21	2.07	35.12
	Bottom	13	18.7	31.9	3.57	2.82	28.08
5	Surface		18.9	31.9	2.67	3.19	25.10
	Bottom	54	15.5	32.8	3.21	1.22	43.74
6	Surface		19.0	32.1	1.17	2.18	22.57
	Bottom	65	15.3	33.5	11.45	1.49	51.03
Average			18.2	32.0	6.02	1.34	31.32

유사한 분포경향을 나타내고 있다. 층별 평균농도는 표층이 10.00 μM, 저층이 7.80 μM를 보여 표층이 저층 보다 높은 농도분포를 보였다. 인산-인의 경우 0.05~3.19 μM (평균 0.60 μM)의 분포범위를 보이고 있으며, 계절별 평균분포는 0.32~1.34 μM의 범위로서 동계에 가장 낮고 추계에 가장 높은 분포를 나타내었다 (Table 1). 정점별로 보면 0.32 μM (정점 3) ~ 0.93 μM (정점 5)의 분포를 보였으며 외해역의 농도 (0.82 μM)가 내해역의 농도 (0.49 μM)보다 높아 총 무기질소와 다른 경향을 보였다. 규산-규소의 분포는 6.12~52.55 (평균 18.84 μM)의 범위로서 계절별 변화를 보면 동계 (평균 12.72 μM)로부터 추계 (평균 31.32 μM)에 이르기까지 약 2.5배의 증가를 보여 인산-인과 비슷한 계절변화를 나타내고 있다. 이같은 현상은 규산-규소가 육상기원임을 감안하면 6~9월 사이에 년중 강우량의 52.4%가 집중되고 있는 것과 관련이 있다고 생각된다. 정점별 분포는 14.77 μM (정점 2) ~ 24.03 μM (정점 1)의 범위를 보였고 인산-인과 마찬가지로 외해역 (20.82 μM)이 내해역 (17.85 μM) 보다 높았다.

식물플랑크톤의 종조성

조사기간 중 출현한 식물플랑크톤의 총 출현종수는 160종 (62속 133종 8변종 4품종 15미동정종)으

로 분류되었다. 분류군별로 보면 규조류가 125종 (46속 105종 7변종 3품종 10미동정종), 와편모조류는 27종 (10속 22종 1품종 4미동정종), 식물편모조류가 6종 (5속 5종 1미동정종), 규질편모조류는 2종 (1속 1종 1변종)으로써 출현종의 구성비율은 규조류가 78.1%, 와편모조류가 16.9%, 식물편모조류가 3.7%, 규질편모조류가 1.3%를 차지하였다 (Appendix). 계절별 출현종수는 전 정점에서 동계 73종, 춘계 67종, 하계 76종, 추계 74종으로써 비슷한 종수를 보이고 있다. 정점별로는 19~40종의 출현종수를 보이며 평균 29종으로 추계에 가장 적고 하계 40종으로 가장 많은 출현종수를 보였다 (Fig. 2).

모든 정점 및 모든 층에서 출현하여 출현빈도가 높은 종류는 동계에 *Actinopterychus senarius*, *Cylindrotheca closterium*, *Paralia sulcata*, *Thalassiosira eccentrica* 등 4종의 규조류였고, 춘계에는 *Chaetoceros socialis*, *Cylindrotheca closterium*, *Pseudo-nitzschia seriata*, *Skeletonema costatum* 등 4종의 규조류였으며, 하계에는 *Bacteriastrum delicatulum*, *Chaetoceros*속 등의 규조류와 *Prorocentrum micans*, *Protoperidinium steinii*, *Scrippsiella trochoidea* 등 3종의 와편모조류였으며, 추계에는 식물편모조류인 *Pseudoscourfieldia marina* 1종이었다. 이러한 출현종수는 이 등 (1990)이 제주 해안선역에서 보고한 245종에 비해서는 적은 종수를 보였으나 고·전 (1984)이 조사

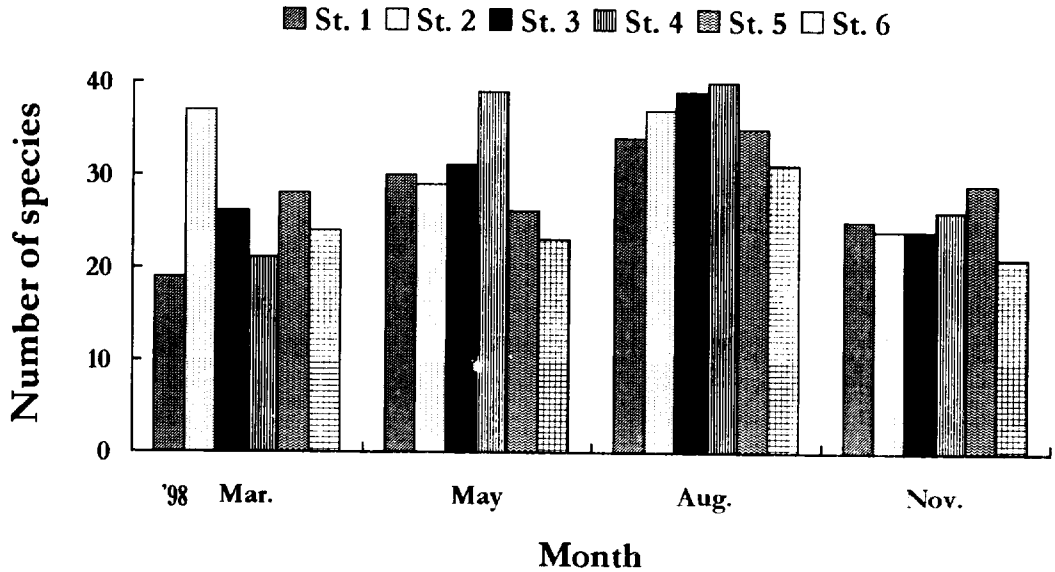


Fig. 2. Seasonal variations of species number of phytoplankton at each station in the study area.

해역과 동일한 삼양해역에서 보고한 116종 보다는 많은 종이 출현하고 있었으며 분류군별 구성비율은 유사한 경향을 보이고 있었다. 반면 삼천포 화력발전소 주변해역에서 79종 (김 등, 1993), 보령 화력발전소 주변해역에서 108종, 서천 화력발전소 주변해역에서 86종 (이·이, 1997)이 보고되어, 조사해역의 식물플랑크톤은 다른 화력발전소 해역보다 많은 출현종수를 보이고 있었다. 하지만 이러한 출현종수는 조사 시기와 기간, 조사 정점수에 따라 차이를 나타낼 수 있다고 본다.

우점종의 변화 및 종다양성 지수

현존량 점유율이 30% 이상 되는 종을 기준으로 선정된 우점종은 *Bacteriastrium delicatulum*, *Chaetoceros lacinosus*, *Ch. perpusillus*, *Ch. socialis*, *Licmophora paradoxa*, *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum* 등 7종의 규조류와 식물편모조류인 *Pseudoscurfieldia marina* 1종이었다 (Table 2). 우점종의 계절 변화를 보면 동계에 저서성 및 일시 부유성 종인 *Paralia sulcata*가 거의 모든 정점의 표층과 저층에서 우점하고 있는데 이는 수직 혼합

에 의한 계절적인 부유현상으로 생각된다 (Fig. 3). 춘계에는 *Chaetoceros socialis*가 55.2%의 점유율로 우점하였는데 이 종은 제주도 북부해역에서 춘계에 우점을 보이는 종으로 알려져 있다 (이 등, 1990). 하계에는 *Bacteriastrium delicatulum*와 *Chaetoceros* 속에 의한 우점이 두드러졌으며, 수온의 상승과 동시에 표층에서 와편모조류의 점유율이 증가하고 있다. 전 계절을 보면 동계에서 하계까지는 *Paralia sulcata* - *Chaetoceros socialis* - *Bacteriastrium delicatulum*의 천이 계열을 이루고 있지만 추계에는 뚜렷한 우점종이 출현하지 않고 식물편모조류의 점유율이 높게 나타나는 특징을 보이고 있었다 (Fig. 3, Table 2).

군집구조의 안정성을 지표하는 종다양성지수 (H')는 1.47~2.93 (평균 2.18)의 범위를 나타내고 있었으며 이 등 (1990)에 의해 보고된 제주도 해안 선역의 년 평균치 2.33~2.63 보다는 다소 낮은 수치를 나타내고 있다 (Table 3). 계절별 변화를 보면 춘계에 1.96으로 가장 낮고 추계에 2.34로 가장 높은 분포를 나타내고 있으며, 춘계에 단일종에 의한 우점으로 인하여 낮은 종다양성을 나타내고 춘계부터 추계까지 다양성이 계속적으로 증가하는 현

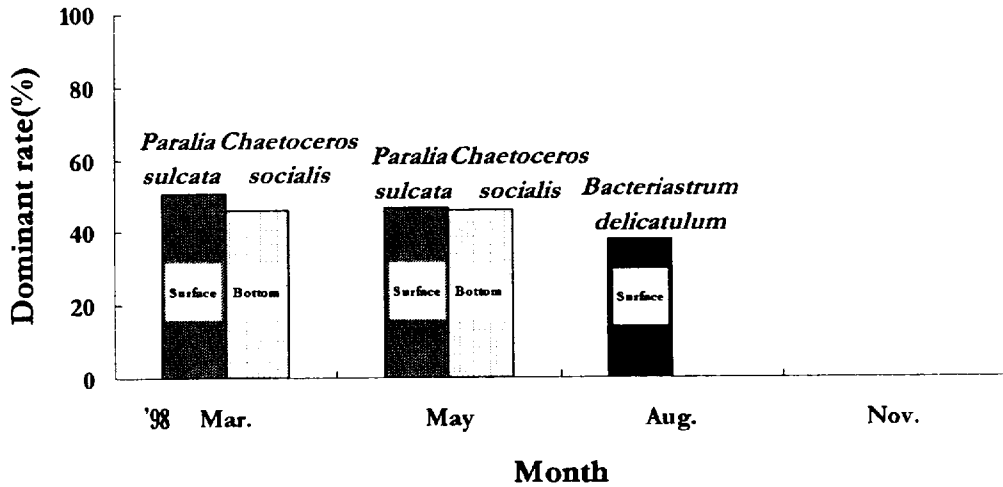


Fig. 3. Seasonal succession of dominant phytoplankton species in the study area.

Table 2. Seasonal succession of dominant phytoplankton species in the study area (Legend : ○ ; 30%-50% of dominant rate, ● ; >50%).

Month Species/Station	March					May					August					November								
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
<i>Bacteriastrium delicatulum</i>													○	○	○		○	○						
<i>Chaetoceros lacinosus</i>															○									
<i>Chaetoceros perpusillus</i>					○																			
<i>Chaetoceros socialis</i>		○					●	○	○	●	●	○												
<i>Licmophora paradoxa</i>																							○	
<i>Paralia sulcata</i>	○	●	○		●	●				○							●							●
<i>Pseudoscourfieldia marina</i>																							○	
<i>Skeletonema costatum</i>							○																	

상은 함덕북부 해안역에서의 이 등 (1995b)의 결과와 잘 일치하고 있다.

현존량변화

식물플랑크톤 현존량은 $7.1 \times 10^3 \sim 1.3 \times 10^5$ cells l^{-1} (평균 4.3×10^4 cells l^{-1})의 범위를 나타냈으며 (Fig. 4). 계절별 평균 현존량은 추계에 2.4×10^4

cells l^{-1} 로 가장 낮고 춘계에 6.9×10^4 cells l^{-1} 로 가장 높은 분포를 나타내었다. 정점별 평균 현존량은 정점 6에서 3.0×10^4 cells l^{-1} 로 가장 낮았고 chlorophyll a 량이 가장 높은 정점 4에서 6.5×10^4 cells l^{-1} 로 가장 높았다. 또한 해역별로는 내해역에서 평균 4.7×10^4 cells l^{-1} 로써 외해역의 3.4×10^4 cells l^{-1} 보다 높은 현존량 분포를 나타내어 chlorophyll a 량과 비슷한 경향을 보이고 있다.

Table 3. Seasonal variations of phytoplankton species diversity (H') in the study area.

Station	Layer	March	May	August	November
1	Surface	1.74	1.73	2.67	2.35
	Bottom	1.94	2.31	1.96	2.61
2	Surface	2.06	2.10	2.92	2.25
	Bottom	2.93	2.12	2.06	2.32
3	Surface	2.09	2.20	2.58	2.60
	Bottom	2.03	2.00	2.01	2.13
4	Surface	2.26	1.84	2.77	2.70
	Bottom	2.30	1.47	2.55	2.48
5	Surface	1.64	1.89	2.07	2.52
	Bottom	2.34	2.24	1.74	2.44
6	Surface	1.92	1.76	2.30	2.09
	Bottom	1.74	1.82	2.25	1.54
Average		2.08	1.96	2.32	2.34

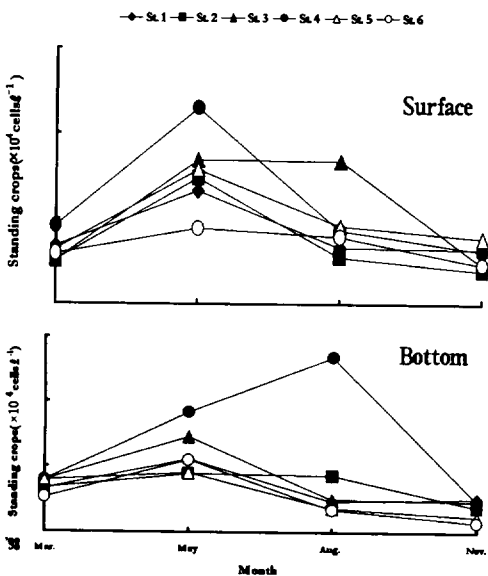


Fig. 4. Seasonal variations of phytoplankton standing crops at each station in the study area.

층별 평균 현존량을 보면 표층이 4.6×10^4 cells l^{-1} 로 저층 (3.9×10^4 cells l^{-1}) 보다 다소 높은 분포를 보였다. 삼양 주변해역에서 고·전 (1984)에 의해 보고된 식물플랑크톤 현존량은 $2.4 \times 10^3 \sim 5.9 \times 10^5$ cells l^{-1} 분포로 나타나 본 조사 보다 다소 높은 현존량을 보여 주고 있지만 계절적인 경향은 본 조사와 매우 유사하게 나타나고 있었다. 다른

지역 화력발전소 주변해역에서 조사된 식물플랑크톤 현존량과 비교하면 삼천포 화력발전소 주변해역은 $8.6 \times 10^5 \sim 2.3 \times 10^6$ cells l^{-1} (김 등, 1993), 보령 화력발전소 주변해역은 $3.5 \times 10^4 \sim 2.5 \times 10^6$ cells l^{-1} , 서천 화력발전소 주변해역은 $6.7 \times 10^4 \sim 9.6 \times 10^5$ cells l^{-1} 의 분포를 보였다(이·이, 1997). 따라서 삼양 주변해역의 현존량은 이미 보고된 화력발전소 주변해역 보다 매우 낮은 식물플랑크톤 현존량을 보이고 있었는데 이것은 일반적으로 부영양해역인 남해 및 서해연안역보다 제주 주변해역이 빈영양해역의 특징을 나타내고 있기 때문이라 생각된다.

Chlorophyll a 량의 변화

조사해역의 chlorophyll a 량은 $0.04 \sim 0.77 \mu g l^{-1}$ (평균 $0.29 \mu g l^{-1}$)의 범위로써 계절별 평균 분포는 동계에 $0.16 \mu g l^{-1}$ 으로 가장 낮고 추계에 $0.38 \mu g l^{-1}$ 로 가장 높은 분포를 보였다 (Fig. 5). 정점별 및 해역별 평균은 정점 2에서 $0.21 \mu g l^{-1}$ 로 가장 낮고 정점 4에서 $0.38 \mu g l^{-1}$ 로 가장 높았으며 내해 ($0.30 \mu g l^{-1}$)가 외해 ($0.27 \mu g l^{-1}$) 보다 다소 높은 분포를 보여 현존량 결과와 일치하였다. 본 조사의 chl a 량은 지금까지 보고된 제주 주변해역의 $0.13 \sim 0.58 \mu g l^{-1}$ (전·고, 1983) 보다는 다소 높은 수치를 보이지만 해안선주변의 $0.45 \sim 2.59 \mu g l^{-1}$ (이 등, 1989) 보다는 상당히 낮은 수치를

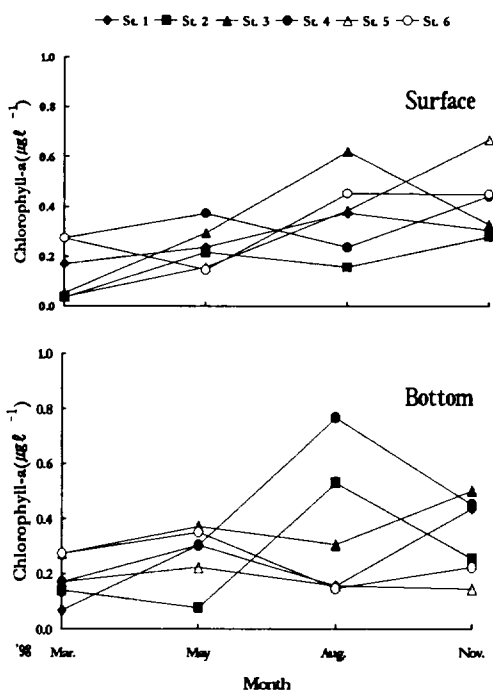


Fig. 5. Seasonal variations of chlorophyll a at each station in the study area.

나타내고 있었다. 다른 지역 화력발전소 주변해역의 chl a량은 삼천포 화력발전소 연안에서 8.05~

13.83 $\mu\text{g l}^{-1}$ (김 등, 1993), 보령 화력발전소 주변해역에서 1.72~3.54 $\mu\text{g l}^{-1}$, 서천 화력발전소 주변해역에서 2.28~4.32 $\mu\text{g l}^{-1}$ (이·이, 1997)의 범위를 보여 본 조사해역은 상대적으로 낮은 chl a량 분포를 보이고 있는데 이는 낮은 현존량과 관계가 있다고 생각된다. 그러나 chl a량과 현존량의 관계를 보면 동계와 하계는 정의 상관관계를 나타내고 있지만 춘계와 추계는 역의 상관관계를 나타내고 있다. 즉 춘계에는 높은 현존량에 비해 낮은 chl량을 보였고 추계에는 낮은 현존량에 비해 높은 chl량을 나타내었다. 이는 춘계와 추계에 우점하는 식물플랑크톤의 크기와 상관이 있으며 춘계에는 크기가 극히 작지만 군체를 이루는 *Chaetoceros socialis*가 전정점에서 우점한 결과이며 추계에는 세포크기가 매우 작아 광학현미경 계수하에서 누락될 수 있는 picoplankton인 식물편모조류가 우점하여 현존량 계수에 영향을 주었기 때문이라고 생각된다 (Berman et al., 1984; Takahashi et al., 1985; 심 등, 1991).

1차생산력

조사해역의 단위시간당 체적당 1차생산력 (PP/hr)은 0.40~11.37 $\text{mg C m}^{-3} \text{hr}^{-1}$ 의 범위로서 계절별

Table 4. Primary productivity, P_{max} , and I_{max} of phytoplankton around Samyang Thermal Power Plant in the northern Cheju from March to November, 1998.

Month	Station	Depth (m)	Secchi depth(m)	Euphotic depth(m)	PP (hr)	Int PP	P_{max}	I_{max}
March	St. 3	24	4.0	10.8	0.46	6.3		
	St. 5	54	9.0	24.3	0.40	29.4	11.5	74.4
May	St. 3	24	13.0	35.1	11.19	263.0		
	St. 5	54	25.0	67.5	11.37	1166.1	70.0	1350.0
August	St. 3	24	11.0	29.7	6.49	390.8		
	St. 5	54	14.0	37.8	5.52	924.0	14.3	371.4
November	St. 3	24	12.5	33.8	2.37	77.8		
	St. 5	54	12.0	32.4	5.49	380.6	7.8	625.0

PP(hr)(primary productivity per hour at the surface) : $\text{mg C m}^{-3} \text{hr}^{-1}$

Int PP(daily depth-intergrated primary productivity in the water column) : $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$

P_{max} (maximum assimilation number) : $\text{mg C mg Chl a}^{-1} \text{hr}^{-1}$

I_{max} (maximum irradiance) : $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$

로 보면 동계에 가장 낮은 분포 (평균 $0.43 \text{ mg C m}^{-3} \text{ hr}^{-1}$)를 보였으며 춘계에 가장 높은 분포 (평균 $11.28 \text{ mg C m}^{-3} \text{ hr}^{-1}$)를 나타내었다 (Table 4). 해역별 분포는 동계와 하계에는 내해가 높고 춘계와 추계에는 외해에서 더 높은 경향을 보였다. 수층의 일일 1차생산력 (Int PP/day)은 내해역 (정점 3)에서 $6.3 \sim 390.8 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (평균 184.5)의 범위로 동계에 가장 낮고 하계에 가장 높은 분포를 보인 반면, 외해역 (정점 5)은 $29.4 \sim 1166.1 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (평균 625.0)의 범위로 동계에 가장 낮고 춘계에 가장 높았다 (Table 4). 계절별로 보면 동계와 추계에 감소하는 경향을 보였고, 춘계와 하계에 증가하는 경향을 보이고 있는데 이것은 식물플랑크톤의 광합성능력인 동화계수 P_{\max} 와 관계가 있다. 특히 춘계에 가장 높은 P_{\max} 를 유지하며 가장 높은 최대광량 (I_{\max})에서 높은 1차생산력이 유지되는 특징을 보이고 있었는데 여기에는 춘계의 우점종인 *Chaetoceros socialis*의 역할이 크다고 판단된다. 연간 1차생산력은 내해역에서 $67.9 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, 외해역에서 $229.6 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 를 나타내어 이 등 (1993, 1995b)이 제시한 제주도 북부 및 동부 연안역 보다는 높고 Chung and Yang(1991)이 제시한 남해안 ($270 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) 보다는 낮은 연간 1차생산력을 보이고 있었다.

결론

조사해역의 수온 분포는 정점간 차이가 미약하여 발전소 주변해역에서 일반적으로 나타나는 온배수의 영향을 감지하기 어려웠으며 계절별 염분 분포는 동계와 춘계에 고염, 하계에는 저염을 나타내었다. 영양염 분포에서 총 무기질소는 내해역에서 높았지만 인과 규소는 외해가 내해보다 높았다. 식물플랑크톤 출현종은 제주도 주변해역에서 기보고된 종수 보다 많은 종류가 출현하고 있었다. 식물플랑크톤 현존량과 chl *a* 량의 분포는 내해역이 외해역보다 높은 분포를 보이고 있었으며 우점종은 동계, 춘계, 하계에는 규조류 단일종에 의한 우점을 보였으나 추계에는 식물편모조류가 우점하는 특징을 보

이고 있었다. 1차생산력은 남해안 보다 낮게 평가되었지만 다른 제주 해역보다는 높았다. 따라서 삼양 화력발전소 주변해역의 식물플랑크톤은 일반적인 제주해역 보다 다양하게 출현하고 있지만 군집동태는 유사한 특징을 보이고 있으며 온배수에 의한 뚜렷한 변화는 보이지 않았다.

요약

본 연구는 북제주 삼양 화력발전소 주변해역의 6개 정점을 중심으로 1998년 3월부터 11월까지 계절별로 년 4회에 걸쳐 식물플랑크톤의 군집동태와 1차생산력을 파악하기 위하여 실시하였다. 환경요인 중 수온의 분포는 $13.0 \sim 29.3^{\circ}\text{C}$ 였으며, 염분은 29.5~34.9‰ 범위였다. 총 무기질소는 $1.17 \sim 57.70 \mu\text{M}$, 인산-인은 $0.05 \sim 3.19 \mu\text{M}$, 규산-규소는 $6.12 \sim 52.55 \mu\text{M}$ 의 분포를 보였다. 조사기간 중 식물플랑크톤의 총 출현종수는 160종 (62속 133종 8변종 4품종 15미동정종)으로 규조류 78.1%, 와편모조류 16.9%, 식물편모조류가 3.7%, 규질편모조류 1.3%의 종조성 비율을 나타내었다. 우점종으로는 *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve, *Chaetoceros socialis* Lauder, *Bacteriastrium delicatulum* Cleve 등의 규조류가 동계, 춘계, 하계에 걸쳐 계절적인 천이를 보였다. 식물플랑크톤 현존량은 $7.1 \times 10^3 \sim 1.3 \times 10^5 \text{ cells l}^{-1}$ 의 범위로 나타났으며 chlorophyll *a* 량은 $0.04 \sim 0.77 \mu\text{g l}^{-1}$ 를 보였다. 수층의 일일 1차생산력은 $6.3 \sim 1166.1 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 의 분포를 보였으며 연간 1차생산력은 내해역에서 $67.9 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, 외해역에서 $229.6 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로 평가되었다. 이상의 결과로써 삼양 화력발전소 주변해역에서는 온배수에 의한 식물플랑크톤 군집에 미치는 특이한 영향을 발견할 수 없었다.

사사

시료채집에 도움을 준 제주대학교 해양연구소 실습선 아라 2호 선원여러분께 감사사를 드린다. 이 연

구는 한국전력 북제주 삼양 화력발전소 환경영향평가 연구지원에 의해 이루어 졌으며 제주대학교 어업학과 노홍길 교수님의 배려에 감사드린다.

참고문헌

- 고유봉·전득산, 1984. 제주도 삼양연안지역에서의 플랑크톤연구. 제주대 해양연보, 8, 19~30.
- 김세화·이진환·홍옥희, 1993. 삼천포 화력 발전소 연안의 플랑크톤상을 중심으로 한 해양환경. 용인대학교 교수 논문집, 9, 357~372.
- 심재형, 1994. 한국식물도감: 식물편(해양식물플랑크톤). 교육부, 서울, 487 pp.
- 심재형·여환구, 1992. 한국연안해역에 있어서 온배수 배출의 생태학적 영향. II. 고리원자력발전소 냉각계통 통과에 따른 식물플랑크톤의 변화. 한국환경생물학회지, 10, 1~8.
- 심재형·여환구·신윤근, 1991. 한국연안해역에 있어서 온배수 배출의 생태학적 영향. I. 고리원자력발전소 주변해역에서 미소 및 초미소 자가영양 플랑크톤의 중요성. 한국해양학회지, 26, 77~82.
- 여환구·심재형, 1992. 한국연안해역에 있어서 온배수 배출의 생태학적 영향. III. 고리원자력발전소 부근 해역 무생물환경과 일차생산자의 군집구조. 한국환경생물학회지, 10, 122~142.
- 여환구·심재형, 1993. 한국연안해역에 있어서 온배수 배출의 생태학적 영향. IV. 고리원자력발전소 부근 해역 일차생산자의 생물량과 생산력. 한국환경생물학회지, 11, 124~130.
- 유광일·이진환, 1982. 고리 원자력 발전소 주변해역의 부유성 규조류에 관하여. 해양연구소보, 4, 53~62.
- 윤양호·노홍길·김영기, 1990. 제주도 북방 합덕연안해역에 있어서 춘·하계 식물성 무각편모조류의 동태. 제주대 해양연보, 14, 1~8.
- 윤양호·노홍길·김영기, 1991. 제주도 연안해역에 출현하고 있는 적조생물. 제주대 해양연보, 15, 1~14.
- 윤양호·노홍길·김영기, 1992. 제주도 북방 합덕연안해역에 있어서 식물플랑크톤 군집의 계절변동특성. 제주대 해양연보, 16, 27~42.
- 이경·최중기·이진환, 1995a. 한국산 돌말류(규조류)의 분류학적 연구. II. 출현목록. 한국조류학회지, 10, 13~89.
- 이기완, 1979. 제주도 서귀포연안 식물성 플랑크톤의 계절변화. 제주대 임해연보, 3, 23~28.
- 이준백, 1989. 제주도 북방 탐동연안해역 식물플랑크톤 군집의 종조성과 동태. 제주대 해양연보, 14, 9~24.
- 이준백·좌종현, 1990. 제주도 한림항과 성산항 일대 식물플랑크톤의 군집구조. 제주대 해양연보, 14, 9~24.
- 이준백·최영찬·고유봉, 1989. 제주도 해안선주변 식물플랑크톤의 기초생산. 한국지구과학회지, 10(1), 62~67.
- 이준백·고유봉·좌종현, 1990. 제주도 해안선주변 식물플랑크톤 군집의 구조와 동태. 한국조류학회지, 5(2), 159~171.
- 이준백·좌종현·김일수, 1991. 제주도 해안선주변 부착규조류의 종조성 및 분포. 제주대 해양연보, 15, 61~72.
- 이준백·좌종현·고유봉·최영찬, 1993. 제주도 동부연안의 생물생태학적 기초연구 (II) 우도주변 식물플랑크톤 군집동태와 일차생산력. 한국지구과학회지, 14(4), 458~466.
- 이준백·고형범·고유봉·최영찬, 1995b. 제주도 북부연안의 생물생태학적 기초연구 - 합덕해역의 식물플랑크톤동태와 일차생산력. 제주대 해양연보, 19, 103~113.
- 이준백·한명수·양한섭, 1998. 한국 동해 남부 연안생태계 연구 1. 1994년 9월에 있어서의 식물플랑크톤의 군집구조와 1차생산력. 한국수산학회지, 31(1), 45~55.
- 이진환·이은호, 1997. 화력발전소(보령·서천) 주변해역에서 식물플랑크톤 군집의 계절적 변동. 한국조류학회지, 12(2), 105~115.
- 전득산·고유봉, 1983. 제주도 주변해역의 chlorophyll a 함량 분포. 제주대 해양연보,

- 7, 23~27.
- 전득산·변충규·노섬, 1986. 진주조개 (*Pinctada fucata*)의 치패생산 및 양식에 관한 환경학적 연구 - 식물플랑크톤의 현존량과 환경특성. 제주대 해양연보, 10, 65~73.
- 조규대·강용균·양한섭·김대철·심재형·최중기·유광일·이원재·박병하·손철현·허성희·차성식, 1989. 온배수 및 취수구 구조물에 의한 영향. 부산수산대학교 부설 해양과학연구소, 489 pp.
- 조기창, 1989. 원자력 발전소 온배수가 식물플랑크톤의 생태에 미치는 영향. 인하대학교 석사학위논문, 80 pp.
- 허형택·김종만·이순길·김동엽·이재학·봉종현·유광일·유순애, 1978. 고정리화력발전소 건설 지점 부근해역에 대한 해양 생태학적 기초조사 연구. 한국과학기술연구소 부설 해양개발연구소, 138 pp.
- APHA, AWWA, APEC, 1994. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 18th ed. American Public Health Association, Washington DC, 1268 pp.
- Barnett, P.R.O., 1972. Effects of warm water effluents from power stations on marine life. Proc. Roy. Soc. Lond., B, 180, 497~509.
- Berman, T., Y. Azov and D. Townsend, 1984. Understanding oligotrophic Oceans: Can the eastern Mediterranean be a useful model? In Marine Phytoplankton and Estuarine Studies. Vol. 8. O. Holm-Hansen, et al., eds. Springer-Verlag, Berlin, p. 101~112.
- Chung, C.S. and D.B. Yang, 1991. On the primary productivity in the southern sea of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 26(3), 242~254.
- Hasle, G.R. and E.E. Syvertsen, 1997. Marine diatoms. In Identifying Marine Phytoplankton, C.R. Tomas, ed. Academic Press, San Diego, p. 5~385.
- Laws, E.A., 1981. Thermal Pollution and Power Plants. A Wiley-Intersci. Publ., 482 pp.
- Parsons, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli, 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford, 173 pp.
- Shannon, C. and W. Wiener, 1963. The Mathematical Theory Communication. Univ. Illinois Press, Urbana, 117 pp.
- Shim, J.H. and Y.C. Park, 1984. Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the southwestern sea of Korea, in early summer. J. Oceanol. Soc. Korea, 19, 68~81.
- Steidinger, K.A. and K. Tangen, 1997. Dinoflagellate. In Identifying Marine Phytoplankton, C.R. Tomas, ed. Academic Press, San Diego, p. 387~584.
- Takahashi, M., K. Kikuchi and Y. Hara, 1985. Importance of picocyanobacteria biomass (unicellular, blue-green algae) in the phytoplankton population of the coastal waters off Japan. Mar. Biol., 89, 63~69.
- Thronsen, J., 1997. The planktonic marine flagellates. In Identifying Marine Phytoplankton, C.R. Tomas, ed. Academic Press, San Diego, p. 591~729.

Appendix. Systematic list of phytoplankton occurred around Samyang Thermal Power Plant in the northern Cheju from March to November, 1998.

- Division Bacillariophyta (규조식물문)
- Class Bacillariophyceae (돌말강)
- Order Centrales (중심돌말목)
- Suborder Coscinodiscineae (체돌말아목)
- Family Thalassiosiraceae Lebour 1930, emend. Hasle 1973 (곤원반돌말과)
- Genus *Lauderia* Cleve 1873 (뿔통돌말속)
Lauderia annulata Cleve
- Genus *Skeletonema* Greville 1865 (골편돌말속)
Skeletonema costatum (Greville) Cleve
- Genus *Thalassiosira* Cleve 1873 (곤원반돌말속)
Thalassiosira anguste-lineata (Schmidt) Fryxell & Hasle
Thalassiosira eccentrica (Ehrenberg) Cleve
Thalassiosira hyalina (Grunow) Gran
Thalassiosira leptopus (Ehrenberg) Fryxell & Hasle
Thalassiosira rotula Meunier
Thalassiosira subtilis (Ostenfeld) Gran
Thalassiosira sp.
- Family Melosiraceae Kützing 1844 (원통돌말과)
- Genus *Corethron* Castracane 1886 (수염돌말속)
Corethron criophilum Castracane
- Genus *Leptocylindrus* Cleve 1889 (파리돌말속)
Leptocylindrus danicus Cleve
- Genus *Melosira* Agardh 1824 (원통돌말속)
Melosira moniliformis (Müller) Agardh
Melosira nummuloides Agardh
- Genus *Paralia* Heiberg 1863 (갯돌말속)
Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve
- Genus *Stephanopyxis* Ehrenberg 1845 (사슬돌말속)
Stephanopyxis nipponica Gran & Yendo
Stephanopyxis turris (Greville) Ralfs
- Family Coscinodiscaceae Kützing 1844 (체돌말과)
- Genus *Coscinodiscus* Ehrenberg 1838 (체돌말속)
Coscinodiscus asteromphalus Ehrenberg
Coscinodiscus concinniformis Simonsen
Coscinodiscus decrescens Grunow
Coscinodiscus gigas Ehrenberg
Coscinodiscus jonesianus (Greville) Ostenfeld
Coscinodiscus marginatus Ehrenberg
Coscinodiscus nobilis Grunow
Coscinodiscus radiatus Schmidt
Coscinodiscus rothii (Ehrenberg) Grunow
Coscinodiscus sp.
- Family Hemidiscaceae Henty 1937 emend. Simonsen 1975 (반원반돌말과)
- Genus *Azpeitia* Peragallo in Tempère & Peragallo 1912 (맷돌돌말속)
Azpeitia nodulifera (A. Schmidt) Fryxell & Sims
- Family Asteolampraceae H.L. Smith 1872 (별빛돌말과)
- Genus *Asteromphalus* Ehrenberg 1844 (불가사리돌말속)
Asteromphalus flabellatus (Bréisson) Greville
- Family Heliopeltaceae H.L. Smith 1872 (요철판돌말과)
- Genus *Actinoptychus* Ehrenberg 1841 (너울돌말속)
Actinoptychus senarius Ehrenberg
- Suborder Rhizosoleniaceae (관돌말아목)
- Family Rhizosoleniaceae Petit 1888 (관돌말과)
- Genus *Dactyliosolen* Castracane 1886 (겉질돌말속)
Dactyliosolen fragilisimus (Bergon) Hasle
- Genus *Guinardia* H. Peragallo 1892 (강통돌말속)
Guinardia delicatula (Cleve) Hasle
Guinardia flaccida (Castracane) Peragallo
Guinardia striata (Stolterfoth) Hasle
- Genus *Proboscia* Sundström
Proboscia alata f. *indica* (Peragallo) Sundström
- Genus *Rhizosolenia* Brightwell 1858 (관돌말속)
Rhizosolenia curvata Zscharis
Rhizosolenia hebetata f. *hebetata* Bailey
Rhizosolenia hebetata f. *semispina* (Hansen) Gran
Rhizosolenia setigera Brightwell
- Suborder Biddulphiineae (실폐돌말아목)
- Family Biddulphiaceae Kützing 1844 (실폐돌말과)
- Subfamily Hemiaulioideae Jaisé, Kiselev & Poreskii 1949 (쇠뿔돌말아과)
- Genus *Eucampia* Ehrenberg 1839 (타래돌말속)
Eucampia zodiacus Ehrenberg
- Genus *Hemiaulus* Heiberg 1863 (쇠뿔돌말속)
Hemiaulus hauckii Grunow
- Subfamily Biddulphioideae Schütt 1896 (실폐돌말아과)
- Genus *Biddulphia* Gray 1821 (실폐돌말속)
Biddulphia biddulphiana (Smith) Boyer
- Genus *Trigonium* Cleve 1868 (세모뿔돌말속)
Trigonium formosum (Brightwell) Cleve
- Subfamily Stictodiscoideae Simonsen 1979 (점판돌말아과)
- Genus *Arachnoidiscus* Deane ex Pritchard 1852 (거미줄돌말속)

- Arachnoidiscus ehrenbergii* Bailey
- Family Chaetocerales H.L. Smith 1872 (센털돌말과)**
- Genus *Bacteriastrum* Schadbolt 1854 (털돌말속)
- Bacteriastrum comosum* Pavillard
- Bacteriastrum delicatulum* Cleve
- Bacteriastrum elongatum* Cleve
- Bacteriastrum hyalinum* Lauder
- Genus *Chaetoceros* Ehrenberg 1844 (센털돌말속)
- Chaetoceros affinis* Lauder
- Chaetoceros atlanticus* Cleve
- Chaetoceros atlanticus* var. *neopolitana* (Schröder) Hustedt
- Chaetoceros borealis* Bailey
- Chaetoceros brevis* Schütt
- Chaetoceros constrictus* Gran
- Chaetoceros convolutus* Castracane
- Chaetoceros costatus* Pavillard
- Chaetoceros curvisetus* Cleve
- Chaetoceros danicus* Cleve
- Chaetoceros debilis* Cleve
- Chaetoceros decipiens* Cleve
- Chaetoceros diadema* (Ehrenberg) Gran
- Chaetoceros didymus* var. *protuberans* (Lauder) Gran & Yendo
- Chaetoceros frichei* Hustedt
- Chaetoceros lacinosus* Schütt
- Chaetoceros lauderi* Ralfs
- Chaetoceros lorenzianus* Grunow
- Chaetoceros pendulus* Karsten
- Chaetoceros perpusillus* Cleve
- Chaetoceros peruvianus* Brighwell
- Chaetoceros socialis* Lauder
- Chaetoceros vanheurckii* Gran
- Chaetoceros* sp.
- Family Lithodesmiaceae H. & M. Peragallo 1897-1908 (들떠돌말과)**
- Genus *Ditylum* L.W. Bailey 1861 (얼레돌말속)
- Ditylum brightwellii* (West) Grunow
- Family Eupodiscaceae Kützing 1849 (눈돌말과)**
- Subfamily Eupodiscoideae (Kützing 1849)**
- Simonsen 1979 (눈돌말아과)**
- Genus *Odontella* Agardh 1832 (개눈돌말속)
- Odontella mobiliensis* (Bailey) Grunow
- Odontella sinensis* (Greville) Grunow
- Genus *Triceratium* Ehrenberg 1839 (삼각돌말속)
- Triceratium alterans* Bailey
- Order Pennales (깃돌말목)**
- Suborder Araphidineae (헛등줄돌말아목)**
- Family Diatomaceae Dumortier 1822 (막돌말과)**
- Genus *Asterionella* Hassall 1850 (별돌말속)
- Asterionella formosa* Hassall
- Genus *Grammatophora* Ehrenberg 1840 (곰페돌말속)
- Grammatophora angulosa* Ehrenberg
- Grammatophora marina* (Lyngbye) Kützing
- Genus *Licmophora* Agardh 1827 (민부채돌말속)
- Licmophora lyngbyei* (Kützing) Grunow
- Licmophora paradoxa* (Lyngbye) Agardh
- Genus *Synedra* Ehrenberg 1830 (대바늘돌말속)
- Synedra crystallina* (Agardh) Kützing
- Synedra gaillonii* (Bory) Ehrenberg
- Synedra tabulata* (Agardh) Kützing
- Synedra* sp.
- Genus *Thalassionema* Grunow ex Hustedt 1932 (부켓살돌말속)
- Thalassionema frauenfeldii* (Grunow) Hallegraeff
- Thalassionema nitzschioides* Hustedt
- Suborder Raphidineae (등줄돌말아목)**
- Family Achnantheaceae Kützing 1844 (땅콩돌말과)**
- Genus *Achnanthes* Bory 1822 (땅콩돌말속)
- Achnanthes longipes* Agardh
- Genus *Cocconeis* Ehrenberg 1838 (날알돌말속)
- Cocconeis pellucida* Grunow
- Cocconeis pseudomarginata* Gergory
- Cocconeis scutellum* Ehrenberg
- Cocconeis* sp.
- Family Naviculaceae Kützing 1844 (쪽배돌말과)**
- Genus *Amphiprora* Ehrenberg 1843 (양날개돌말속)
- Amphiprora surirelloides* Hendy
- Genus *Amphora* Ehrenberg ex Kützing 1844 (보리돌말속)
- Amphora coffeaeformis* Kützing
- Amphora lineolata* Ehrenberg
- Genus *Diploneis* Ehrenberg ex Cleve 1894 (도관돌말속)
- Diploneis fusca* (Gregory) Cleve
- Diploneis* sp.
- Genus *Gyrosigma* Hassall 1845 (나선돌말속)
- Gyrosigma* sp.
- Genus *Navicula* Bory 1822 (쪽배돌말속)
- Navicula directa* Ralfs
- Navicula distans* (Smith) Ralfs
- Navicula transitrans* var. *derasa* Heimdal
- Navicula* sp.
- Genus *Pleurosigma* W. Smith 1853 (갯나선돌말속)
- Pleurosigma angulatum* (Quekett) Smith
- Pleurosigma elongatum* Smith
- Pleurosigma normanii* Ralfs
- Pleurosigma* sp.
- Genus *Tropidoneis* Cleve 1891 (용골돌말속)
- Tropidoneis lepidoptera* (Gregory) Cleve
- Family Nitzschiaceae Grunow 1860 (등침돌말과)**

- Genus *Bacillaria* Gmelin in Linnaeus 1788
(옥돌말속)
Bacillaria paxillifer (Müller) Hendy
- Genus *Cylindrotheca* Rabenhorst 1859 (봉침돌말속)
Cylindrotheca closterium (Ehrenberg)
Reimann & Lewin
- Genus *Nitzschia* Hassall 1845 (등침돌말속)
Nitzschia amphibia (Kützing) Grunow
Nitzschia angularis Smith
Nitzschia antillarum (Cleve) Meister
Nitzschia longissima (Bréisson) Ralfs
Nitzschia longissima var. *reversa* Smith
Nitzschia obtusa var. *scapelliformis* Grunow
Nitzschia sigma (Kützing) Smith
Nitzschia sigma var. *intercedens* Grunow
Nitzschia socialis Gergory
Nitzschia vitrea Norman
Nitzschia sp.
- Genus *Pseudoneotia* Grunow 1880
Pseudoneotia doliolus (Wallich) Grunow
- Genus *Pseudo-nitzschia* Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo 1900 (사슴등침돌말속)
Pseudo-nitzschia delicatissima (Cleve)
Heiden & Kolbe
Pseudo-nitzschia granii var. *granii* (Hasle)
Hasle
Pseudo-nitzschia pungens (Grunow) Hasle
Pseudo-nitzschia seriata (Cleve) Peragallo
- Family Surirellaceae Kützing 1844 (방패돌말과)**
- Genus *Surirella* Turpin 1828 (방패돌말속)
Surirella americana Peragallo
- Division Dinophyta (외편모조식물문)**
- Class Dinophyceae (외편모조강)**
- Order Procoentrales Lemmermann 1910**
- Family Procoentraceae Stein 1883**
- Genus *Proocentrum* Ehrenberg 1833
Proocentrum compressum (Bailey) Abé ex Dodge
Proocentrum micans Ehrenberg
Proocentrum triestinum Schiller
- Order Gymnodiniales Lemmermann 1910**
- Family Gymnodiniaceae Lankester 1885**
- Genus *Gymnodinium* Stein 1878
Gymnodinium mikimotoi Miyake & Kominami ex Oda
Gymnodinium sp.
- Genus *Gyrodinium* Kofoid & Swezy 1921
Gyrodinium spirale (Berge) Kofoid & Swezy
Gyrodinium sp.
- Order Gonyaulacales F.J.R. Taylor 1980**

- Family Ceratiaceae Lindemann 1928**
- Genus *Ceratium* Schrank 1793
Ceratium furca (Ehrenberg) Claparède & Lachmann
Ceratium fusus (Ehrenberg) Dujardin
Ceratium gravidum Gourret
Ceratium tripos (Müller) Nitzsch
- Family Gonyaulacaceae Lindemann 1928**
- Genus *Gonyaulax* Diesing 1866
Gonyaulax spinifera (Claparède & Lachmann) Diesing
- Family Oxytoxaceae Lindemann 1928**
- Genus *Oxytoxum* Stein 1883
Oxytoxum sp.
- Order Peridiniales Haeckel 1894**
- Family Calciodinellaceae F.J.R. Taylor 1987**
- Genus *Scrippsiella* Balech ex Loeblich III
Scrippsiella trochoidea (Stein) Loeblich III
- Family Kolkwitzellaceae Lindemann 1928**
- Genus *Preperidinium* Mangin 1913
Preperidinium meunieri (Pavillard)
Elbrächter
- Family Peridiniaceae Ehrenberg 1828**
- Genus *Heterocapsa* Stein 1883
Heterocapsa rotundata (Lohmann) Hansen
- Genus *Protoperidinium* F.J.R. Taylor 1987
Protoperidinium avellanum (Meunier) Balch
Protoperidinium bipes (Paulsen) Balech
Protoperidinium brochii f. *inflatum*
(Okamura) Schiller
Protoperidinium crassipes (Kofoid) Balech
Protoperidinium depressum (Bailey) Balech
Protoperidinium divergens (Ehrenberg)
Balech
Protoperidinium oceanicum (Vanhöffen)
Balech
Protoperidinium ovum (Schiller) Balech
Protoperidinium pellucidum Bergh
Protoperidinium steinii (Jørgensen) Balech
Protoperidinium sp.
- Division Cryptophyta (은편모조식물문)**
- Class Cryptophyceae (은편모조강)**
- Order Cryptomonadales Engler 1903**
- Family Hilleaceae Butcher 1967**
- Genus *Hillea* Schiller 1925
Hillea fusiformis (Schiller) Schiller
- Division Chrysophyta (황갈조식물문)**
- Class Chrysophyceae (황갈조강)**
- Order Pedinellales Zimmermann, Moestrup & Hällfors 1984**

Family Pedinellaceae Pascher 1910
Genus *Pseudopedinella* N. Carter 1937
Pseudopedinella pyriforme N. Carter

Class Dictyochophyceae (무색규질편모조강)
Order Dictyochales Haeckel 1894
Family Dictyochaceae Lemmermann 1901
Genus *Dictyocha* Ehrenberg 1837
Dictyocha fibula Ehrenberg
Dictyocha speculum var. *octonarium*
(Ehrenberg) Jörgensen

Division Euglenophyta (유글레나조식물문)
Class Euglenophyceae (유글레나조강)
Order Eutreptiales Leedale 1967
Family Eutreptiaceae Hollande 1942

Genus *Eutreptiella* da Cunha 1914
Eutreptiella marina da Cunha

Division Chlorophyta (녹조식물문)
Class Prasinophyceae (담녹조강)
Order Chlorodendrales Fritsch 1917
Family Chlorodendraceae Oltmanns 1904
Genus *Pseudoscourfieldia* Manton 1975
Pseudoscourfieldia marina (Thronsdon)
Manton

Family Halosphaeraceae Haeckel 1894
Genus *Micromonas* Manton & Parke 1960
Micromonas pusilla (Butcher) Manton &
Parke
Micromonas sp.