Bull. Mar. Res, Inst.
Cheju Nat. Univ., 19 : 103~113, 1995

제주대 해양연보, 19 : 103~113, 1995

제주도 북부연안역의 생물생태학적 기초연구
-함덕해역의 식물플랑크톤 동태와 일차생산력-

이준백 · 고형범 · 고유봉 · 최영찬
제주대학교 해양학과

Bioecological Studies of the Northern Coastal Area in Cheju Island
-Phytoplankton Dynamics and Primary Productivity at the Hamduk Area-

Joon-Baek Lee · Hyoung-Bum Koh · You-Bong Go · Young-Chan Choi

Department of oceanography, Cheju National University, Cheju 690-756 Korea

This study has been carried out to understand the dynamics and primary productivity of phytoplankton at nearshore and offshore in the Hamduk area, northern Cheju Island from July 1989 to July 1990. A total of 132 species were identified, comprising mainly 96 spp. of diatoms(72.7 %) as majority, and also 28 spp. of dinoflagellates(21.2 %) and 8 spp. of other phytoflagellates(6.1 %) as minority. Of these, *Chaetoceros socilis, Fragilaria oceanica, Lauderia annulata* predominated more than 70 % of standing crops at nearshore and the genus *Chaetoceros* was most abundant in all stations. The cell number of surface layer ranged from 7.1×10^3 to 7.3×10^4 *cells/ℓ* at nearshore and from 5.8×10^3 to 3.0×10^4 *cells/ℓ* at offshore, showing the composition ratio of 97 % by diatoms. The means of daily depth-integrated primary productivity in the water-column were 631.06(156.74~1,055.26) *mgC/m²/day* at nearshore(st. 2) and 367.12(111.83~734.44) *mgC/m²/day* at offshore(st. 4), estimating about 182 *gC/m²/yr* in the yearly primary productivity. Assimilation number of phytoplankton at the surface ranged from 0.93 to 13.16 *mgC/mgChl-a/hr*, showing higher values in summer. It is speculated that the dynamics of phytoplankton show the close relation with the vertical mixing and stratification of the water mass in terms of the vertical distribution of cell number and the seasonal variation of primary productivity.

Key words : phytoplankton, primary productivity, cheju

서 론

제주도 주변 연안역은 대마난류를 비롯하여 중국연안수, 남해안 연안수, 황해수등의 영향을 받고 있어 독특한 해양학적 특성을 보이고 있다. 또한 미약하지만 용천수와 하천등의 담수 유입도 해안선 주변에서 관측되고 있다. 그리고 섬 주위의 수심역시 해안선에서 가까운 연안역은 20~30 *m*의 천해역으로 형성되어 있지만 그 이상의 외양역은 100 *m* 내외의 수심으로 절벽에 가까운 급경사를 이루고 있다. 이처럼 제주도 주변해역은 각기 성질이 다른 해수와 독특한 해저 지형이 어우러져 동서남북 해역이 각기 특징적인 해양생태계를 나타내며 여러가지 해양생물의 다양한 서식처를 제공하고 있다. 따라서 이 연구는 제주도 주변해역의 생물생태학적 연구의 일환으로써 북부연안역의 함덕해역을 중심으로 이루어진 결과의 일부를 보고한다.

식물플랑크톤은 잘 알려진대로 탄소 고정능력에 의한 유기물합성을 수행하여 해양의 일차생산자로서 해양생태계에 있어 매우 중요한 역활을 하고 있다. 또한 해양의 일차생산은 식물플랑크톤 군집의 동태와 밀접한 관계가 있으며 계절적 환경의 변화 즉 빛, 수온, 염분, 영양염류 뿐만 아니라 수

괴의 혼합등 물리적 특성에 의해 영향을 받고 있다. 지금까지 제주주변해역의 식물플랑크톤 군집에 관한 연구는 Shim과 Park(1984), 고와 전(1984), 전 등(1986), 이(1989), 윤 등(1990), 이 등(1990), 이와 좌(1990), 윤 등(1992), 이 등(1993)이 보고하였고 일차생산은 최근에 이 등(1989), Chung과 Yang(1991), 이 등(1993)이 C－14 방법을 이용하여 측정하였다. 그러나 이러한 제주도 주변해역의 식물플랑크톤 연구는 다른 한국연안에 비하여 연구가 미흡한 상태에 있고 비교할 수 있는 자료가 부족한 상황이다. 그러므로 이 연구는 제주도 북부해역중 함덕해역을 중심으로 연안역과 외양역을 비교하여 수괴내 식물플랑크톤 동태와 일차생산력의 계절적 특성을 규명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

현장관측과 채집은 제주대학교 해양연구소가 위치한 함덕의 북방해역을 중심으로 1989년 7월부터 1990년 7월까지 매월 조사하였다. 조사정점은 정점 1(북위 33°32′45″, 동경 126°39′45″)을 기점으로 함덕 주변 수심 30～40 *m*이내의 연안역에 2개 정점(정점 1, 2)과 해안선으로 부터 정북방향인 일직선상(A line)의 수심 100 *m*이상 외양역에 3개 정점(정점 3, 4, 5)을 선정하였다(Fig. 1).

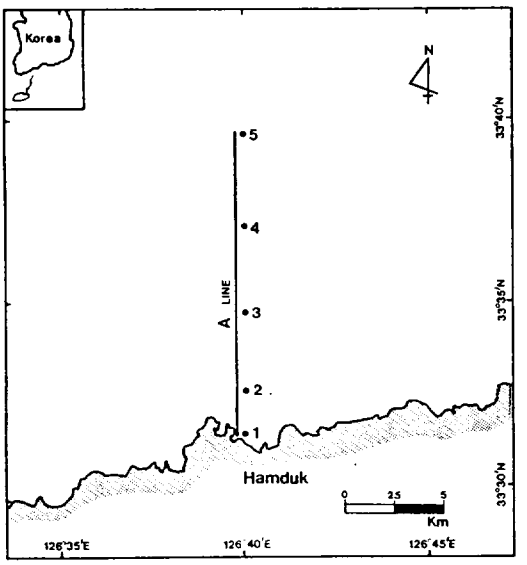

Fig. 1. Sampling stations in the Hamduk area in nothern Cheju Island.

식물플랑크톤의 채집은 Niskin채수기를 이용하여 연안역은 0, 5, 10, 20 *meter* 수심에서 외양역은 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100 *meter*의 표준수심을 기준으로 1 *liter*씩을 채수하였으며 현장에서 중성 Formalin으로 최종 농도가 약 0.4 %가 되게 고정하여 실험재료로 사용하였다. 정량분석은 Sedgwick-Rafter counting chamber를 이용하여 계수한 후 단위 체적당 세포수(*cells/ℓ*)로 환산하여 현존량으로 표시하였다. 정성분석은 광학현미경(Olympus, CHT)으로 400～1,000 배율하에서 동정 및 분류하였다. 종의 동정 및 계수는 규조류, 와편모조류 및 식물성편모조류를 중심으로 이루졌으며 Hasle과 Syvertsen(1996), Steidinger와 Tangen (1996), Throndsen(1993)에 의한 분류체계에 의해 정리되었다.

일차생산력은 ^{14}C를 이용한 측정방법(Parsons *et al.*, 1984)으로 정점 1, 2, 4에서 '89년 10월(추계), '90년 2월(동계), 4월(춘계), 7월(하계)에 걸쳐 계절별로 실시하였다. 측정은 현장에서 각 시료에 $NaH^{14}CO_3$ 2 μCi씩 처리하여 이 등(1989)에 기재된 순서에 의해 배양실험하였다. 각 정점의 수심별 일차생산력 측정은 투명도판에 의해 유광층을 결정하고 각 층의 광도를 나타내는 스크린의 겹을 이용하여 무겹(Z_0＝100 %), 1겹(Z_1＝61 %), 2겹(Z_2＝37 %), 3겹(Z_3＝21 %), 7겹(Z_7＝1 %)의 광도에서 배양하여 Beer 법칙에 따라 각 광도별 수심을 산출한 뒤 수심별 일차생산력(*mgC/m²/hr*)을 추정하였다. 이를 근거로 제주기상대의 일사량 자료를 이용하여 일일 일차생산력(*mg/C/m²/day*)을 계산하였다. 식물플랑크톤의 동화계수(assimilation number)는 단위시간당 단위 *Chl-a*당 일차생산력 [*mg/C/mg/Chl-a/hr*＝(*mg/C/m³/hr*)/(*mg/Chl-a/m³*)]으로 표시하였다. Chlorophyll 측정은 Parsons 등(1984)의 방법에 의해 Spectrophotometer를 이용하여 실시하였다. 조사해역의 환경요인은 수온, 염분, 용존산소, 영양염류등을 측정하였으며 최 등(1991)의 자료를 인용하였다.

결과 및 고찰

종조성

조사기간 중 출현한 식물플랑크톤은 총 132종으로 규조류가 40속 86종 10미동정종, 와편모조류가

Table 1. Monthly variation of number of species in different phytoplankton taxa at the Hamduk area from July, 1989 to July, 1990

Taxa / Month	1989						1990				
	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Feb	Mar	Apr	May	Jul
Diatoms	10	10	37	16	17	11	16	29	13	15	14
Dinoflagellates	3	1	10	3	4	2	4	4	3	7	15
Silicoflagellates	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	1
Prasinophyceae	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Euglenoids	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	13	13	50	19	21	13	20	34	16	24	31

8속 27종 1미동정종, 규질편모조류가 1속 4종, 프라지노조류가 3속 3종, 유글레나류가 1속 1종으로 구성되어 있다(Appendix). 출현종의 구성비율은 규조류가 72.7 %, 와편모조류가 21.2 %, 기타 식물성편모조류가 6.1 %를 차지하고 있다. 그중 규조류는 중심목(centric diatoms)이 52종, 우상목(pennate diatoms)이 44종을 차지하였고, 와편모조류는 유각류(thecate dinoflagellates)가 23종, 무각류(athecate dinoflagellates)가 5종을 차지하였다(Appendix).

출현종수의 월별 변화를 보면 '89년 9월에 50종으로 가장 높고, '89년 7월과 '89년 8월 그리고 '89년 3월에 13종으로 가장 낮은 출현종수를 보였다(Table 1). 전체 종의 출현변화에 규조류가 대부분을 차지하였으나 '89년 9월과 '90년 7월에는 와편모조류의 출현종수가 많아지고 있다(Table 1). 년중 정점별 출현종수를 보면 정점 1에서 37종, 정점 2에서 68종, 정점 4에서 28종이 출현하여 연안역과 외양역의 중간정점인 정점 2에서 가장 높게 나타나고 있었으며, 연안역이 외양역에 비해 많은 출현종수를 나타내고 있었다. 또한 수심별 년중 출현종수는 정점 2의 경우 표층(0 *m*)에서 68종, 10 *m*층에서 76종, 20 *m*층에서 56종이 출현하고 있어 10 *m*층에서 가장 많은 출현 종수를 나타내고 있었다.

조사해역과 같은 제주도 북부해역인 탑동 연안역에서는 규조류가 69.9 %, 와편모조류가 30.1 % 차지하였고(이, 1989), 삼양 연안역에서도 규조류 73.3 %, 와편모조류 24.1 %의 구성비율을 보이고 있다(고와 전, 1984). 또한 이 등(1990)은 제주도 전 해안역조사에서 총 245종의 식물플랑크톤중 규조류가 80.0 %, 와편모조류가 13.1 %의 구성비율로 출현한다고 보고하였다. 따라서 제주도 북부해역의 일반적인 식물플랑크톤 출현종의 구성비율은 규조류와 와편모조류가 전체 식물플랑크톤 출현종의 93 % 이상을 차지하고 있다고 생각된다. 그러나 윤등(1992)은 고정하지 않은 분석시료를 이용한 함덕연안역 조사에서 총 120종의 식물플랑크톤 출현종중 와편모조류가 45종으로 37.5 %의 높은 출현비율을 보고하였는데 이는 무각 와편모조류가 손상되지 않고 관찰되었기 때문이다. 이처럼 고정법의 여하에 따라 출현종의 구성비 및 현존량의 차이가 있다고 판단되지만 이 연구에서는 전통적인 기존의 고정재료에 의한 분석자료를 근거로 고찰하였다.

우점종의 동태

우점종은 현존량 점유율이 50 %이상을 나타낸 종을 선정하였는데 모두 13종으로 규조류에 속하고 있었다(Fig. 2). 현존량의 50~70 %를 점유한 종은 *Asterionellopsis kariana, Chaetoceros constrictus, Chaetoceros decipiens, Chaetoceros lauderi, Chaetoceros vanheurckii, Nitzschia longissima, Tropidoneis longa, Amphipleura* sp., *Melosira* sp., *Synedra* sp.등 10종이며, 70 % 이상을 점유한 종은 *Chaetoceros socialis, Fragilaria oceanica, Lauderia annulata* 등 3종이었다. 이 등(1990)은 북부해안역에서 추계에 *Asterionellopsis kariana*, 동계에 *Melosira nummuloides*와 *Paralia sulcata* 그리고 춘계에 *Chaetoceros socialis*등이 년중 천이계열을 이루면서 우점한다고 보고하였다. 그러나 이번 조사에서는 하계에 *Asterionellopsis kariana*, 추계에 *Chaetoceros socialis*와 *Melosira* sp., 동계에 *Nitzschia longissima*, 춘계에 *Fragilaria oceanica, Lauderia annulata*등이 계절별 천이를 나타내며 우점하고 있어(Fig. 2), 우점종의 조성은 비슷하였지만 계절별 천이양상은 조사시기마다 다른 특징을 보이고 있다.

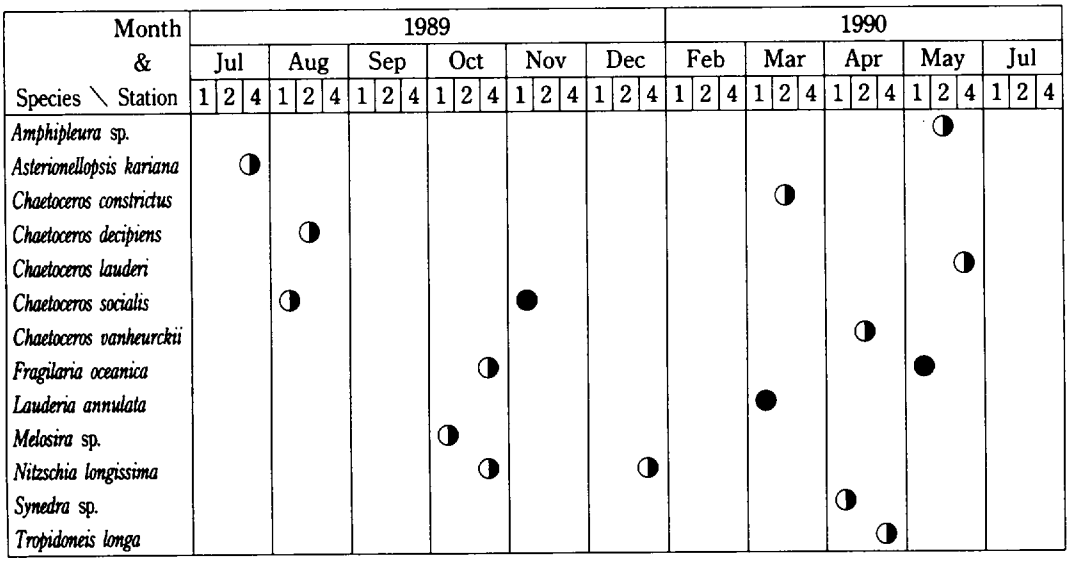

Fig. 2. Monthly distribution of dominant species in the Hamduk area from July, 1989 to July, 1990. (Legend : ◑ ; 50−70 % of standing crops, ● ; 70 %<)

정점별로 보면 정점 1은 *Chaetoceros socialis, Lauderia annulata, Fragilaria oceanica* 등이 70 %이상의 우점을 보이고 있으며 *Melosira* sp.와 *Synedra* sp. 등의 저서성 규조류가 50 % 이상의 우점을 보이고 있다(Fig. 2). 이 등(1990)에 의하면 제주도 해안역의 식물플랑크톤 서식생태는 저서성 및 일시부유성종이 49.8 %를 차지하고 있어 다른 한반도 주변해역중 가장 높은 비율을 보이고 있다고 하였는데 정점 1의 출현 우점종으로 볼때도 가장 해안선에 가까운 정점의 특징을 보이고 있다. 정점 2는 *Chaetoceros constrictus, Chaetoceros decipiens, Chaetoceros vanheurckii* 등 부유성인 *Chaetoceros*속과 저서성인 *Amphipleura* sp.가 우점하고 있어 연안역과 외양역과 중간적인 특징을 보이고 있다(Fig. 2). 정점 4은 *Asterionellopsis kariana, Chaetoceros lauderi, Fragilaria oceanica, Nitzschia longissima, Tropidoneis longa*등이 외양성 규조류가 우점을 나타내어 가장 외양역에 위치하고 있는 특징을 나타내었다. 이처럼 제주도 주변 해역의 식물플랑크톤 출현 우점종은 수심에 얕은 연안역인 경우 저서성 및 일시부유성 규조류가 부착하고 있는 해조류 및 암반이 많이 조성되어 있어 바람과 조류등 물리적인 영향에 의한 수직혼합으로 많은 부착성 규조류가 우점할 가능성이 매우 높은 반면(이 등, 1990, 1991), 외양역은 수심이 100 *m*이상 깊어 상대적으로 저서성 종류가 재부유할 기회가 적고 외양수의 영향으로 부유성 종류가 우점할 확율이 높은 특징을 보이고 있다.

현존량의 동태

조사기간 중 식물플랑크톤의 현존량은 연안역(St. 1,2)과 외양역(St. 3, 4, 5)의 표층(0 *m*), 중층(10, 20, 30 *m*), 저층(50, 75, 100 *m*)의 평균값으로 표시하였다(Fig. 3). 현존량의 범위는 연안역의 경우 표층에서 7.1×10^3~7.3×10^4 *cells/ℓ*, 저층에서 8.2×10^3~4.1×10^4 *cells/ℓ*의 범위를 나타내었으며 '89 12월에 가장 낮았고 '90 4월에 가장 높게 나타나고 있었다(Fig. 3). 외양역인 경우 표층에서 5.8×10^3~3.0×10^4 *cells/ℓ*, 중층에서 7.0×10^3~3.0×10^4 *cells/ℓ*, 저층에서 7.8×10^3~2.5×10^4 *cells/ℓ* 의 범위로 연안역과 외양역 모두 10^5 *cells/ℓ* 이내의 범위를 보이고 있다. 월별동태를 보면 연안역은 표층과 저층 모두 동계에 낮고 춘계와 추계에 증가하는 전형적인 북반구의 식물플랑크톤 계절변화를 보이고 있으나 춘계와 하계에 들어 표층과 저층의 뚜렷한 차이를 보이고 있다(Fig. 3A). 반면 외양역은 표층의 경우 동계에 낮고 춘계에 높은 경향을 보이지만 중층과 저층은 오히려 동계('90년 2월)에 높고 그후 감소하는 경향을 나타났다(Fig. 3 B). 이처럼 외양역에서 층별로 계절별 현존량의 분포

가 달라지는 것은 Fig. 3 B에서 보듯이 춘계와 하계에 수온약층의 형성으로 인한 성층구조가 확실하여 표층과 중.저층의 현존량 역시 분리되어 나타나지만 추계와 동계에는 수온약층이 약화되어 수직 혼합이 잘 이루어져 오히려 중·저층이 표층보다 높거나 같은 현존량분포를 보이고 있다. 이처럼 수괴의 계절적 수직혼합 강도와 성층구조 특성이 식물플랑크톤의 수직분포에 영향을 주고 있는 현상은 제주도 동부연안역 식물플랑크톤 동태에서도 밝혀진바 있으며(이 등, 1993), 이번 조사와 동일한 시기에 이루어진 최 등(1991)의 화학해양학적 특성과도 잘 부합되고 있다.

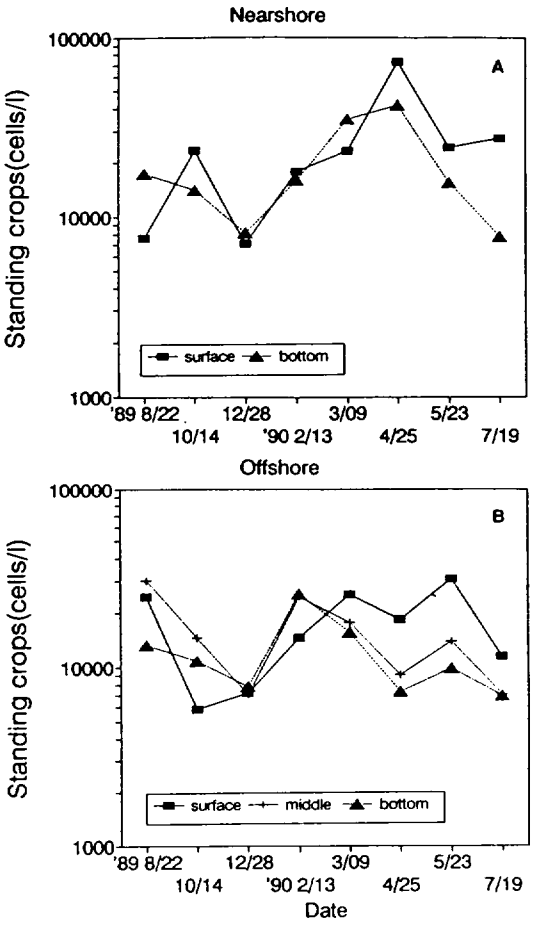

Fig. 3. Monthly variation of mean standing crops of phytoplankton in the Hamduk area. A : Nearshore(St. 1, 2), B : Offshore(St. 3, 4, 5)

분류군별로 보면 규조류가 전체 평균현존량에 97 % 이상을 차지하고, 와편모조류는 전체 평균현존량에 3 %를 차지하여 식물플랑크톤의 동태는 규조류에 의해 좌우되었고 와편모조류는 거의 영향을 미치지 못하였다. 규조류는 춘계와 추계에 증가하는 경향을 보였지만 와편모조류는 규조류와 반대로 춘계에는 감소하고 하계와 추계에 증가하는 경향을 나타내었다.

이러한 결과로 볼 때 조사해역의 식물플랑크톤의 현존량은 10^3~10^5 *cells/ℓ*의 범위를 나타내어 제주도 해안역에서 조사된 평균 5.5×10^3~5.2×10^5 *cells/ℓ* 범위(이 등, 1990)와 제주 서남방해역에서 조사된 평균 6.7×10^3~1.7×10^4 *cells/ℓ* 범위(Shim and Park, 1984) 보다는 높은 현존량을 보이고 있고, 고와 전(1984)의 삼양연안역의 2,425~590,105 *cells/ℓ*와 이 등(1989)의 탑동연안역의 1,892~535,247 *cells/ℓ*의 범위와 비슷한 현존량분포을 나타내고 있었다. 그러나 이와 좌(1990)는 성산항 조사에서 6.4×10^3~1.7×10^6 *cells/ℓ*의 범위를 보여 제주도 해역에서도 대발생이라 할수 있는 10^6 *cells/ℓ* 이상의 높은 현존량이 나타날 수 있음을 시사하였고, 윤 등(1992)도 고정하지 않은 재료를 이용하여 함덕해역에서 4.1×10^3~2.4×10^6 *cells/ℓ*의 현존량 범위를 보고하고 있어 분석방법에 따라 많은 변이가 있음을 나타내고 있다.

일차생산력

조사해역에 있어 표층의 일일 평균 일차생산력은 정점 1에서 34.94(5.19~62.14) *mgC/m³/day*, 정점 2에서 22.72(1.77~39.32) *mgC/m³/day*, 정점 4에서 15.12(5.57~33.36) *mgC/m³/day*이며, 수심별 일차생산력을 합산한 수주(water-column)의 일일 평균 일차생산력은 정점 1에서 242.39(111.85~496.22) *mgC/m²/day*, 정점 2에서 631.06(156.74~1,055.26) *mgC/m²/day*, 정점 4에서 367.12(111.83~734.44) *mgC/m²/day*이었다(Table 2). 이와 같이 정점간 표층의 일차생산력과 수주의 일차생산력이 차이가 있는 것은 정점 1은 수심이 5 *m*인 반면 정점 2와 4는 수심이 30 *m*이상으로 표층의 일차생산력은 정점 1이 높지만 유광층수심이 깊은 정점 2와 4에서 수주의 일차생산력이 더 높게 계산되었기 때문이다(Table 2).

Table 2. Seasonal variation of cell number, chlorophyll-*a* and primary productivity in the Hamduk area.

Station ＼ Date		'89 10/14	'90 2/13	4/25	7/19	Mean
St. 1	Cell number	32,314	26,323	71,306	31,349	40,323
	Chl-*a*	0.54	0.12	0.77	0.23	0.42
	PP(Om)	62.14	36.10	36.33	5.19	34.94
	Int PP	234.84	496.22	126.66	111.85	242.39
	(E/S depth)	(5 *m*/Bottom)	(5 *m*/Bottom)	(5 *m*/Bottom)	(5 *m*/Bottom)	
St. 2	Cell number	14,788	9,388	74,752	23,340	30,567
	Chl-*a*	0.42	0.14	0.91	0.45	0.48
	PP(Om)	22.17	1.77	27.61	39.32	22.72
	Int PP	340.33	156.74	971.92	1055.26	631.06
	(E/S depth)	(24.4 *m*/9 *m*)	(19 *m*/7 *m*)	(21.7 *m*/8 *m*)	(24.4 *m*/9 *m*)	
St. 4	Cell number	3,958	11,564	9,973	11,664	9,290
	Chl-*a*	0.42	0.19	0.89	0.24	0.44
	PP(Om)	5.57	11.89	33.36	9.67	15.12
	Int PP	459.98	111.83	734.44	162.24	367.12
	(E/S depth)	(43.3 *m*/16 *m*)	(23 *m*/8.5 *m*)	(28.4 *m*/10.5 *m*)	(32.5 *m*/12 *m*)	
Mean	Cell number	17,020	15,758	52,010	22,118	
Mean	Chl-*a*	0.46	0.15	0.86	0.31	
Mean	PP(Om)	29.96	16.59	32.43	18.06	
Mean	Int PP	345.05	254.93	611.01	443.12	

Cell number=*cells/ℓ*, Chlorophyll-*a*=*mgChl-a/m*^{3}
PP(Om)=Daily primary productivity(*mgC/m*^{3}*/day*) at the surface layer
Int PP=Daily depth−integrated primary productivity(*mgC/m*^{2}*/day*) in the water-column
E depth(Euphotic depth)=2.7×Sechi-disk depth
S depth=Secchi-disk depth

조사해역의 수주의 일일 일차생산력의 월별 변화를 보면 연안역(정점 2)인 경우 동계에 최소치, 하계에 최대치를 이루면서 춘계와 하계에는 증가하고 추계과 동계에 감소하는 경향을 보이고 있지만 외양역(정점 4)의 경우는 춘계와 추계에 높고 동계와 하계에 낮아지는 분포를 보였다(Fig. 4). 이처럼 계절별로 수주의 일차생산력이 다른 것은 현존량의 경우와 마찬가지로 수괴의 물리화학적 특성에 의해 영향을 받고 있다고 생각된다. 즉 연안역인 경우 춘계와 하계에 충분한 수온과 빛 그리고 영양염류의 공급으로 생산력이 상승하지만 외양역인 경우는 하계에 강한 수온약층으로 인하여 영양염공급이 제약을 받아 일차생산력이 낮아지고 있으며 이는 Table 2에서 보듯이 세포수도 연안역에 비해 떨어지고 있는 것으로도 알수 있다. 또한 외양역의 추계('89년 10월)에는 오히려 연안역

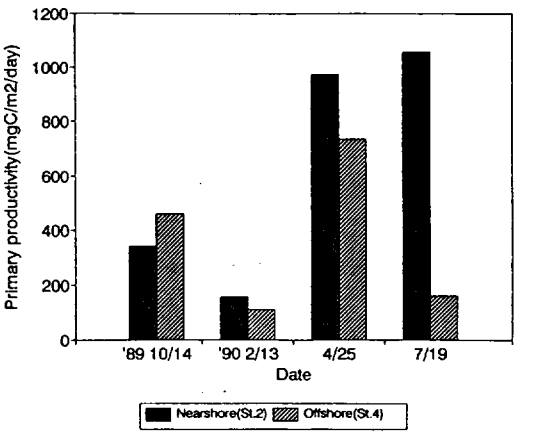

Fig. 4. Seasonal variation of daily depth-integrated primary productivity of phytoplankton in the Hamduk area.

보다 높아지고 있는데 최 등(1991)의 해양화학적 관측에 의하면 이 시기에 미약하나마 외양역에서 용승현상이 있었다는 것과 연관지을 수 있다.

동화계수(assimilation number)는 식물플랑크톤의 광합성율을 의미하는 것으로 정점 1에서 평균 9.89(3.67~22.57) *mgC/mgChl-a/hr*, 정점 2에서 평균 4.73(0.93~10.27) *mgC/mgChl-a/hr*, 정점 4에서 평균 6.86(2.43~13.16) *mgC/mgChl-a/hr* 의 범위로 동계에 최소치를, 하계에 최대치를 보였다 (Fig. 5). 즉 하계에는 수온상승 및 빛조건과 함께 식물플랑크톤의 광합성이 활발하여 높은 동화계수를 보이지만 동계에는 저온과 낮은 일사량으로 저조하여 낮은 동화계수를 나타내고 있다.

이 등(1989)이 제주도 해안선에서 측정한 표층의 일차생산력은 1.31~117.04 *mgC/m^3/day* 의 범위로 하계에 높았다. 또한 제주도 동부해역의 수주 일차생산력은 연안역에서 210.17(4.34~588.68) *mgC/m^2/day*, 외양역에서 309.36(4.25~804.55) *mgC/m^2/day*라 보고되었다(이 등, 1993). Chung과 Yang(1991)은 한국남해안의 표층 일차생산력은 2~222 *mgC/m^3/day*, 수주의 일차생산력은 평균

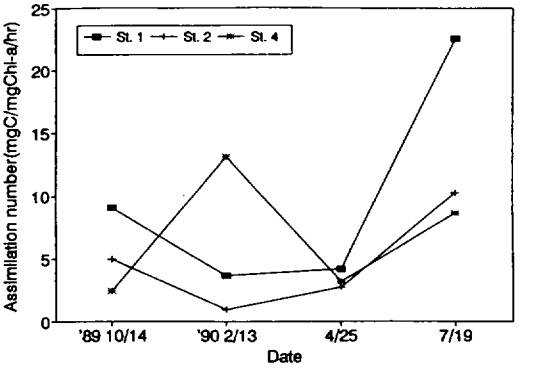

Fig. 5. Seasonal variation of assimilation number of phytoplankton in the Hamduk area.

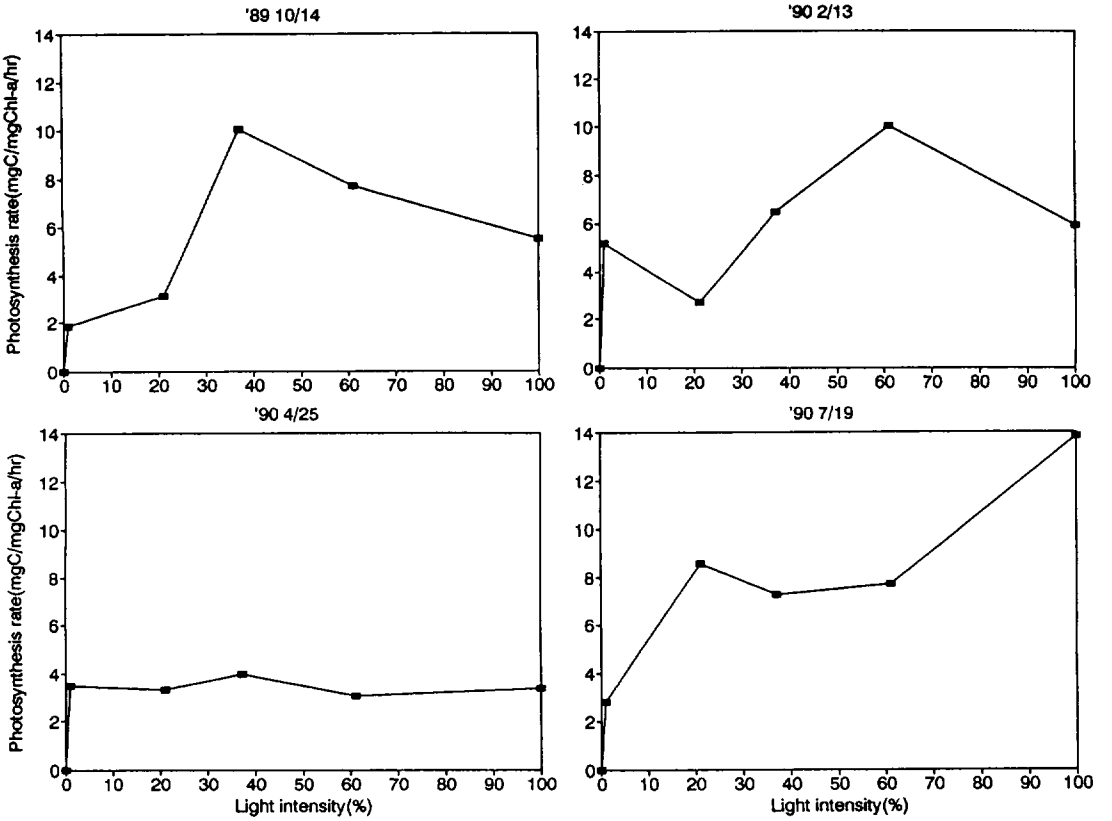

Fig. 6. Photosynthesis rate vs. Light intensity(%) curve of phytoplankton in the Hamduk area.

314～1,727 $mgC/m^2/day$의 분포를 보이며 추계에 가장 높고 년간 약 274 $gC/m^2/yr$로 추정하였다. 한편 조사해역인 제주도 북부해역의 수주 일차생산력은 연안역(정점 2)이 평균 631.06, 외양역(정점 4)이 평균 367.12 $mgC/m^2/day$로 평균 일일 일차생산력은 499.09 $mgC/m^2/day$이며 이를 근거로 년간 수주 일차생산력을 182 $gC/m^2/yr$로 추정한다면 제주도 해안선역과 동부해역의 일차생산력보다 높지만 남해안과 서해안의 결과보다는 낮다고 생각된다(정과 박, 1988 ; 신등, 1990).

일차생산력과 빛과의 관계를 나타내기 위해 흔히 P－I(photosynthesis rate vs. irradiance) curve를 이용한다. 본 연구에서는 정확한 현장광도를 측정하지 못하였기에 Irradiance 단위 대신 표층광도를 100 %로 하고 그에 따른 각 층별 광도(100, 61, 37, 21, 1 %)를 설정하여 light intensity(%)에 대한 광합성율($mgC/mgChl\text{-}a/hr$)로 표시하였다(Fig. 6). 계절별로 보면 추계와 춘계는 37 % 적정광도에서 최대 광합성율을 보이며 동계는 61 % 적정광도에서 최대 광합성율을, 하계는 100 % 적정광도에서 최대 광합성율을 나타내었다. 이는 추계, 동계와 춘계에 수직혼합이 활발하여 유광층의 저층부(37～61 %) 까지도 식물플랑크톤이 분포하여 일차생산력이 활발하지만 하계에는 수온약층의 형성과 함께 수직혼합층이 상대적으로 얕아지기 때문에 유광층 상층부의 적정광도(100 %)에서 식물플랑크톤이 적응하는 것으로 생각된다. 그러나 Chung과 Yang(1991)에 의하면 남해안의 식물플랑크톤 일차생산력의 적정광도는 4월에 표층광도의 25～50 %, 11월에 12～25 %, 8월에 5～10 %인 수심으로서 하계에 오히려 아주 낮은 광도에 적응된다고 하였고, 한편 낮은 탁도를 보이는 서해에서는 투명도가 해양의 일차생산력에 매우 큰 영향을 미치고 있어(심 등, 1991 ; 최, 1991), 조사해역과 다른 특징을 보이고 있다. 그러나 수심이 깊고 성층화가 분명한 동해 남부해역에서는 식물플랑크톤 적정광도가 수직와류혼합의 강도와 상관을 보이고 있어(Shim and Park, 1986), 조사해역의 결과와 잘 부합되며 또한 제주도 동부해역의 일차생산력 결과(이 등, 1993)도 계절별 수직혼합층의 깊이에 따라 적정광도가 달라지는 특징을 보이고 있다. 따라서 이상의 결과를 종합하면 제주도 북부 함덕해역에 있어 식물플랑크톤 동태와 일차생산력은 수괴의 수직혼합과 성층형성등의 해수특성과 보다 밀접한 관계를 나타내고 있다고 생각된다.

요 약

제주도 북부 함덕해역의 연안역과 외양역에 있어 식물플랑크톤 동태와 일차생산력을 파악하기 위해 1989년 7월부터 1990년 7월까지 조사하였다.

조사기간중 출현한 식물플랑크톤은 총 132종으로 규조류가 96종(72.7 %), 와편모조류가 28종(21.2 %), 기타 식물성 편모조류가 8종(6.1 %)을 차지하였다. 출현종중 *Chaetoceros socialis, Fragilaria oceanica* 그리고 *Lauderia annulata*가 연안역에서 현존량의 70 % 이상의 높은 우점율을 보였으며 대체적으로 *Chaetoceros*속이 높은 우점을 나타내었다. 평균현존량의 분포는 연안역(정점 1, 2)이 7.1×10^3～7.3×10^4 $cells/\ell$, 외양역(정점 3, 4, 5)이 5.8×10^3～3.0×10^4 $cells/\ell$의 범위로써 규조류가 97 % 를 차지하였다. 수주의 평균 일일 일차생산력은 연안역(정점 2)에서 631.06(156.74～1,055.26) $mgC/m^2/day$, 외양역(정점 4)에서 367.12(111.83～734.44) $mgC/m^2/day$로 년간 평균 약 182 $gC/m^2/yr$로 추정된다. 식물플랑크톤의 동화계수는 표층에서 0.93－13.16 $mgC/mgChl\text{-}a/hr$의 범위로써 하계에 높았다. 개체수의 수직분포와 일차생산력의 계절변화로 볼때 함덕해역의 식물플랑크톤 동태는 수괴의 수직혼합 및 성층과 밀접한 상관을 보이고 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

고유봉, 전득산, 1984. 제주도 삼양연안지역에서의 플랑크톤 연구. 제주대 해양연보. 8, 19～30.

신윤근, 심재형, 조준성, 박용철. 1990. 천수만 미세플랑크톤의 상대적 중요성 : 종조성, 개체수, 클로로필 및 일차생산력. 한국해양학회지 25(4), 217～228.

심재형, 신윤근, 여환구, 1991. 만경, 동진강 하구 표영생태계의 무생물환경과 일차생산자 1. 환경특성과 식물플랑크톤의 군집구조. 한국해양학회지 26(2), 155～168.

윤양호, 노홍길, 김영기, 1990. 제주북방, 함덕연안해역에 있어서 춘.하계 식물성 무각편모조류의

동태. 제주대 해양연보. 14, 1~8.
윤양호, 노홍길, 김영기, 1992. 제주북방, 함덕 연안해역에 있어서 식물플랑크톤 군집의 계절변동. 제주대 해양연보. 16, 27~42.
이준백, 1989. 제주도 북방 탑동연안해역 식물플랑크톤 군집의 종조성과 동태. 제주대 해양연보. 13, 35~45.
이준백, 좌종헌, 1990. 제주도 한림항과 성산항일대 식물플랑크톤의 군집동태. 제주대 해양연보. 14, 9~12.
이준백, 최영찬, 고유봉, 1989. 제주도 해안선주변 식물플랑크톤의 기초생산. 한국지구과학회지 10, 62~67.
이준백, 고유봉, 좌종헌, 1990. 제주도 해안선주변 식물플랑크톤의 구조와 동태. 조류학회지 5 (2), 159~171.
이준백, 좌종헌, 김일수, 1991. 제주도 해안선주변 부착규조류의 종조성 및 분포. 제주대 해양연보. 15, 61~72.
이준백, 좌종헌, 고유봉, 최영찬, 1993. 제주도 동부연안역의 생물생태학적 기초연구(II) 우도주변 식물플랑크톤 군집동태와 일차생산력. 한국지구과학회지 14(4), 458~466.
전득산, 변충규, 노섬, 1986. 진주조개(*Pinctada fucata*)의 치패생산 및 양식에 관한 환경학적 연구 (3) 식물플랑크톤의 현존량과 환경특성. 제주대 해양연보. 10, 65~73.
정경호, 박용철, 1988. 서해 경기만의 기초생산력 및 질소계 영양염의 재생산에 관한 연구. 한국해양학회지 23(4), 194~206.
최영찬, 문영석, 고유봉, 이준백, 1991. 제주도 북부연안역의 생물생태학적 기초연구 -제주도 북방 함덕해역의 화학적 특성. 한국지구과학회지 12(1), 38~45.
최중기, 1991. 황해 중.동부 연안수역의 조석전선이 식물플랑크톤 생산력과 분포에 미치는 영향. 한국해양학회지 26(3), 223~241.
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, 1996. Marine diatoms. *In* Tomas, C. R. (ed.) Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates. Academic Press, San Diego, pp. 5~385.
Parsons, T. R., Y. Maita, and C.M. Lalli, 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis, Pergamon Press, Oxford, pp. 173.
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(1), 68~81.
Shim, J. H., and Y. C. Park, 1986. Primary productivity measurement using carbon-14 and nitrogenous nutrient dynamics in the southeastern sea of Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 21(1), 13~24.
Steidinger, K. A. and K. Tangen, 1996. Dinoflagellates. *In* Tomas C. R. (ed.) Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates. Academic Press, San Diego, pp. 387~584.
Throndsen, J., 1993. The planktonic marine flagellates. *In* Tomas C. R.(ed.) Marine Phytoplankton, A Guide to Naked Flagellates and Coccolithophorids. Academic Press, San Diego, pp. 7~146.

Appendix. Check-list of phytoplankton occurred in the Hamduk area from July, 1989 to July, 1990.

Class Bacillariophyceae
Centric diatoms
Bacteriastrum elegans Pavillard
Bacteriastrum hyalinum Lauder
Campylosira cymbelliformis (Sch.) Grunow
Chaetoceros affinis Lauder
Chaetoceros atlanticus Cleve
Chaetoceros brevis Schütt
Chaetoceros compressus Lauder
Chaetoceros constrictus Gran
Chaetoceros debilis Cleve
Chaetoceros decipiens Cleve
Chaetoceros didymus Ehrenberg

Chaetoceros holsaticus Schütt
Chaetoceros laevis Leud.-Frotmorel
Chaetoceros lauderi Ralfs
Chaetoceros lorenzianus Grunow
Chaetoceros messanensis Castracane
Chaetoceros pelagicus Cleve
Chaetoceros pendulus Karsten
Chaetoceros pseudocrinitus Ostenfeld
Chaetoceros pseudodichaeta Ikari
Chaetoceros radicans Schütt
Chaetoceros socialis Lauder
Chaetoceros vanheurckii Gran
Chaetoceros sp.
Corethron criophilum Castracane
Coscinodiscus gigas Ehrenberg
Coscinodiscus sp.
Ditylum brightwellii (T.West) Grunow
Gossleriella tropica Schütt
Guinardia delicatula (Cleve) Hasle
=*Rhizosolenia delicatula* Cleve
Guinardia striata (Stolterfoth) Hasle
=*Rhizosolenia stolterfothii* H. Peragallo
Hemiaulus sinensis Greville
Hemiaulus hauckii Grunow
Lauderia annulata Cleve
Leptocylindrus danicus Cleve
Leptocylindrus minimus Gran
Melosira clavigera var. *minor* Cleve-Euler
=*Melosira distans* (Ehrenberg) Kützing
Melosira juergensii Agardh
Melosira moniliformis (Müller) Agardh
Melosira nummuloides Agardh
Melosira sp.
Odontella sinensis (Greville) Grunow
Plagiogrammopsis vanheurckii (Grun.)Hasle
=*Plagiogramma vanheurckii* Grunow
Podosira stelliger (Bailey) Mann
Rhizosolenia hebetata (Bailey) Gran
Stephanodiscus rotula (Kützing) Hendey
Thalassiosira anguste-lineatus (Sch.)Fry.&Has.
Thalassiosira hyalina (Grunow) Gran
Thalassiosira leptopus (Ehr.)Fryxell & Hasle
Thalassiosira mala Takano
Thalassiosira pacifica Gran & Angst
Thalassiosira rotula Meunier

Araphid pennate diatoms
Asterionellopsis karina (Grunow) Round
=*Asterionella karina* Grunow
Bleakeleya notata (Grunow) Round
=*Asterionella bleakerleyi* var. *notata* Grunow
Diatoma elongatum Agardh
Fragilaria islandica Grunow
Fragilaria oceanica Cleve
Grammatophora marina (Lyngbye) Kützing
Licmophora abbreviata Agardh
=*Licmophora lyngbyei* (Kützing) Grunow
Lioloma elongatum (Grunow) Hasle
=*Thalassiothrix delicatula* Cupp
Synedra faciculata (Agardh) Kützing
=*Synedra tabulata* (Agardh) Kützing
Synedra undulata (Bailey) Gregory
Synedra sp.
Thalassionema nitzschioides (G.)Mereschkow.
Thalassionema frauenfeldii (Gr.)Hallegraeff
=*Thalassiothrix frauenfeldii* (Gr.) Grunow
Thalassiothrix longissima Cleve & Grunow

Raphid pennate diatoms
Achnanthes brevipes Agardh
Achnanthes longipes Agardh
Achnanthes sp.
Amphipleura sp.
Amphiprora alata (Ehrenberg) Kützing
Amphiprora sulcata O'Meara
Amphora hyalina Kützing
Amphora lineolata Ehrenberg
Amphora proteus Gregory
=*Amphora quadrata* Brébisson
Caloneis linearis (Grunow) Boyer
Donkinia recta (Donkin) Grunow
Mastogloia sp.
Navicula cancellata Donkin
Navicula sp.
Nitzschia commutata Grunow
Nitzschia lanceolata W.Smith
Nitzschia longissima (Brébisson) Ralfs
Nitzschia longissima var. *reversa* W.Smith

Nitzschia navicularis (Brébisson)Grunow
Nitzschia pacifica Cupp
Nitzschia recta Hantzsch
Nitzschia vitrea Norman
Nitzschia sp.
Pinnularia sp.
Pseudo-nitzschia delicatissima (Cleve) Heiden
=*Nitzschia delicatissima* Cleve
Pseudo-nitzschia pungens (Grunow) Hasle
=*Nitzschia pungens* Grunow
Pseudo-nitzschia seriata (Cleve) Peragallo
=*Nitzschia seriata* Cleve
Stauroneis membranacea (Cleve) Hustedt
=*Navicula membranacea* Cleve
Tropidoneis antarctica Cleve
Tropidoneis longa Cleve

Class Dinophyceae
Thecate dinoflagellates
Ceratium azoricum Cleve
Ceratium humile Jörgensen
Ceratium kofoidii Jörgensen
Ceratium symmetricum Pavillard
Ceratium tripos (O.F.Müller) Nitzsch
Ceratium sp.
Dinophysis fortii Pavillard
Diplopsalopsis orbicularis (Paulsen) Meunier
=*Peridinium orbiculare* Paulsen
Lingulodinium polyedra (Stein) Dodge
Prorocentrum balticum (Loh.) Loeblich
Prorocentrum lima (Ehrenberg) Dodge
Prorocentrum micans Ehrenberg
Prorocentrum scutellum Schröder
Prorocentrum triestinum Schiller
Protoperidinium achromaticum (Lev.)Balech
Protoperidinium cerasus (Paul.) Balech
Protoperidinium compressum (Nie) Balech
Protoperidinium depressum (Bail.) Balech
Protoperidinium excentricum (Paul.) Balech
Protoperidinium orbiculare Paulsen
Protoperidinium pellucidum Bergh
Protoperidinium roseum (Paul.) Balech
Protoperidinium thorianum Paulsen

Athecate dinoflagellates
Gymnodinium conicum Kofoid & Swezy
Gymnodinium lohmanii Paulsen
Gymnodinium sanguineum Hirasaka
Gyrodinium crassum Pouchet
Gyrodinium fissum (Lev.) Kofoid & Swezy

Phytoflagellates
Class Dictyochophyceae(Silicoflagellates)
Dictyocha fibula Ehrenberg
Dictyocha fibula var. stapedia(H.)Lemmer.
Dictyocha speculum (Ehr.) Haeckel
Dictyocha speculum var. *octonarius* Haeckel

Class Prasinophyceae
Mantoniella squamata (Man.&Par.) Desika.
Nephroselmis rotunda (N. Carter) Fott
Pyramimonas frossii Parke

Class Euglenophyceae(Eglenoids)
Eutreptiella gymnastica Throndsen

* 본 연구는 1989년 교육부 기초과학 육성연구비의 지원에 의한 것임