

2004-2006년 6-10월 동안의 남해중부연안 해역특성 및 식물플랑크톤의 군집생태

조 은 섭 · 이 상 용 · 김 상 수 · 최 윤 석
국립수산과학원 남해수산연구소
(2007년 4월 9일 접수; 2007년 7월 19일 채택)

Marine Environments and Ecological Characteristics of Phytoplankton in Southern Coastal Waters During June to October in 2004-2006

Eun Seob Cho, Sang Yong Lee, Sang Soo Kim and Yoon Seok Choi
South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea
(Manuscript received 9 April, 2007; accepted 19 July, 2007)

This study monitored marine environments and ecological characteristics of phytoplankton in southern coastal waters during June to October in 2004-2006 and provided an information to how *Cochlodinium* blooms have occurred. A total of sampling sites was 16 (Dukyang bay, Goheung, Yeoja bay, Gamak bay, Gwangyang bay, Yeosu, and Namhae). Temperature ranged from 19°C to 29°C, which all of sampling in Yeoja bay was the highest temperature of 27°C and 29°C during summer. On June, July, September, and October did not show a remarkable difference regardless of sampling sites. Yeoja and Gwangyang bays had 25-27 in salinity that was lower approximately 5-6 compared with other sampling sites. Chlorophyll had considerable fluctuations depending on sampling sites on July and October, in particular, Gwangyang bay was the highest value of 15 µg l⁻¹ that had five times as much as. Unlikely to temperature, salinity, and chlorophyll, transparency ranged from 2 m to 5 m regardless of sampling sites. Gwangyang bay was the highest DIN (Dissolved Inorganic Nitrogen) of 0.53 mg l⁻¹ on July and August that had ten times as much as, whereas DIP (Dissolved Inorganic Phosphorus) did not show a significant difference between sampling sites. On July, the correlation of DIN and chlorophyll was a negative that should extremely require DIN to grow phytoplankton, but was a positive liner on August. Mean cell number of phytoplankton reached to encounter a peak of 500cells ml⁻¹ in July and August, which diatoms were dominant species and attained an abundance of >60% regardless of months. In August, the occurrence of dinoflagellates ranged from 20% to 30%. *Skeletonema costatum*, one of dominant species, was the highest occurrence to throughout sampling sites during 2004 to 2006. On the basis of cluster analysis for phytoplankton, they were distributed in all of sampling sites. Consequently, significant fluctuations of marine environments were shown in summer and *S. costatum* was regarded as the representative phytoplankton in southern coastal waters. In particular, the outbreaks of *Cochlodinium polykrikoides* have occurred in Dukyang bay, Gamak bay, Goheung, Yeosu, and Namhae, but Yeoja and Gwangyang bays did not occur. The distinguish characteristics of occurring sampling sites and non-occurring in *Cochlodinium* blooms based on this study was DIN that was enough to persistently grow and maintain them even a litter dissolved in water. This suggests that *Cochlodinium* red tide seems to be occur in off waters.

Key Words : *Cochlodinium*, DIN, Phytoplankton, Southern waters

Corresponding Author : Eun Seob Cho, South Sea Fisheries
Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea
Phone: +82-61-690-8959
E-mail: escho@momaf.go.kr

1. 서 론

해양생태계는 다양한 생물군으로 형성되어 있으며, 그 중 식물플랑크톤 군집 및 종 조성 변동은 해양환경에 민감하게 반응하기 때문에 해양생태계의

동태를 파악할 수 있는 중요 인자로 활용되고 있다. 또한 식물플랑크톤은 1차 생산자로서 수산자원은 물론 서식하고 있는 모든 해양동물의 생산활동을 유지하고 있는 기본 요소이다. 이러한 요인 등에 의하여, 연안해역의 식물플랑크톤 군집구조는 해양 생태계의 기능이나 해역의 효율적 관리 측면에서도 무엇보다 기본적으로 파악되어야 하는 부분이다.

남해안은 비교적 큰 조석 차와 잘 발달된 리아스식 해안 특성을 보여, 수많은 도서 및 곡선형 해안선에 의한 반 폐쇄적 특성을 보이는 내만 해역이 발달되어 있어서 오래 전부터 어패류의 산란장 및 생육장으로 중요한 역할을 했다¹⁾. 특히 남해안의 중앙에 위치하고 있는 밧돌바다를 중심으로 득량만, 여자만, 가막만, 여수연안 등과 같은 남해중부해역은 육지로부터 유입되는 담수의 영향과 제주도에서 북상하는 대마난류 등과 같은 외해수의 영향을 받는 해역이다. 이러한 해양지형학적 이유 때문에 각 수괴 사이에 해양전선이 형성되어 이 해역의 생물상, 특히 식물플랑크톤의 분포와 특성을 변화시키는 주요 요인으로 알려져 있다²⁻⁴⁾. 또한 남해중부해역은 생활하수나 산업폐수로 인한 영양염 공급, 가두리 어류양식, 패류양식으로 이들의 해양환경 특성은 식물플랑크톤 군집에 많은 영향을 주고 있다⁵⁾. 따라서 남해중부해역에 대한 수산학적, 해양생물학적 관점에서 매우 중요하므로, 여기에 대한 연구는 활발하게 진행되어 왔다⁶⁻¹⁵⁾.

남해중부연안의 하절기는 식물플랑크톤 중 조성이 다양하고, 세포개체수도 많기 때문에¹⁶⁾ 유용수산생물의 산란과 아울러 먹이생물이 풍부하여 증식이 빨라진다. 특히 이 시기에는 규조류 뿐만 아니라 와편모조류의 출현량도 많아 진다¹⁶⁾. 이와 동시에, 1990년 중반부터 와편모조류에 속하고 어류 치사성 *Cochlodinium* 적조가 매년 밧돌바다를 중심으로 최초로 발생되고 있는 관계로, 이 해역에 대한 적조발생 규명을 위하여 여러 가설들을 제시하고 있다. 시스트 발아설¹⁷⁾, 성충구조설¹⁸⁻²⁰⁾ 저염분설²¹⁾, 외해수 유입설²²⁻²⁴⁾, 영양염설^{25,26)}, 동물플랑크톤의 수괴 지표종설²⁷⁾ 등으로 해석하고 있다. 적조현상은 물리적, 화학적, 생물학적 인자가 유기적으로 설명하기에는 아직까지 불충분한 것으로 추측된다. 따라서 이 연구에서 6-10월 동안의 남해중부연안의 해양특성과 식물플랑크톤 군집구조 분석은 적조발생 전·후 단계에 대한 생물·생태를 해석하기 위하여 설정했다.

남해중부해역에 대한 장기간의 해양환경 및 식물플랑크톤 모니터링은 이 해역에 서식하고 있는 모든 해양생물의 생산활동 유지 및 해양 생태계의 효율적인 관리를 위해서는 가장 기본적인 연구임과

아울러 필수적인 요소이다. 따라서 본 연구는 2004-2006년 동안 남해중부해역 중 득량만, 여자만, 가막만, 광양만, 여수연안, 남해연안에 대한 모니터링을 통하여 환경특성 및 식물플랑크톤의 군집특성을 밝혀 전반적인 생태계의 기능을 파악하고자 한다.

2. 재료 및 방법

조사 시기는 2004년부터 2006년까지 남해중부연안의 득량만 (정점 1, 2), 고흥 (정점 3, 4, 5), 여자만 (정점 6, 7), 가막만 (정점 8, 9), 광양만 (정점 10, 11), 여수 (정점 12, 13, 14), 남해 (정점 15, 16)를 대상으로 6월부터 10월까지 조사하였다 (Fig. 1). 각 조사 정점에서의 표층수온과 염분은 염분계 YSI 6920을 이용하여 현장에서 기록하였다. 표층해수는 niskin bottle(G/O, 1.2 L, USA)을 이용하였다. 채수된 해수는 1L 플라스틱 용기에 담아 냉장고에 보관 후 실험실로 옮겨와 해양환경공정시험방법²⁸⁾에 의거 즉시 분석을 실시했다. 부유물질 (SS)은 미리 무게를 측정된 유리섬유 여과지 (GF/F: 0.7 μm)로 여과하여 건조한 후 합량차로 측정하였다. Chlorophyll *a*는 해수시료를 0.45 μm 여과지로 여과하여 90% acetone으로 추출한 후 spectrophotometer (Perkin Elmer, LS50B)로 비색 정량하였다. 암모니아 질소는 인도페놀법을 이용하여 640 nm에서 정량하였고, 아질산 질소는 술퍼닐아미드 용액과 NED 용액으로 반응시켜 543 nm에서, 질산 질소는 카드뮴-구리 환원관을 통과시켜 아질산 질소의 정량 방법에 의해서 정량하였다. 인산인은 885 nm에서 측정하였고, COD는 티오황산나트륨으로 적정한 후 환산하여 정량하였다. 식물플랑크톤의 종 조성 및 개체수를 관찰하기 위하여 해수 1L를 채수하여 Lugol 고정액으로 고정한 후 실험실로 운반하였다. 3일 이상 침강시킨 후 상등액을 제거하여 5 mL로 농축시켰다. 농축 시료는 Sedgwick-Rafter에 분산시킨 뒤 광학현

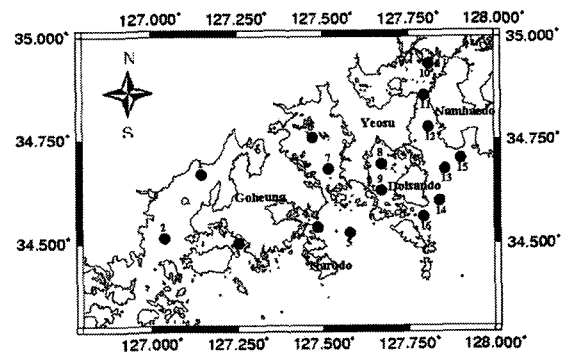


Fig. 1. Map showing the sampling locations.

미경 (Olympus, BX50) 하에서 검경한 뒤 세포수를 계수하였다. 각 정점간의 식물플랑크톤 유사도는 MVSP ver. 3.1 프로그램을 이용하여 작성하였고, 도식적으로 표현한 dendrogram에서 거리 지수는 Euclidian 방법에 따라 나타내었다.

3. 결 과

3.1. 수질환경

3.1.1. 득량만

3년 동안의 득량만 평균수온 변화폭은 매우 적게 나타났으며, 7월부터 9월까지 24.09-26.74℃ 범위를 보였고, 조사기간 동안 21℃ 이상의 수온 분포를 보

이고 있다 (Table 1). 염분의 경우 7월부터 10월까지 31.17-32.13 범위로 6월에 비해 2 정도 낮게 나타났다 (Table 2). 특히 9월에 조사정점 1에서 변화폭이 2.069로 가장 높아, 6월의 0.5에 비하면 약 4배 정도 높았다. 클로로필의 경우 7월을 제외한 나머지 조사시기에는 1.8-3.8 $\mu\text{g l}^{-1}$ 범위로 월별 차이를 볼 수 없었으나, 7월에는 5배 정도 높은 10.3과 14.8 $\mu\text{g l}^{-1}$ 로 변화폭도 매우 크게 나타났다 (Table 3). 그러나 투명도는 클로로필과 달리 조사 시기에 관계없이 큰 변화를 나타내지 않고, 1.5-3.0 m 범위를 보여주고 있다 (Table 4). 용존무기질소의 함량도 7-9월 사이에 0.04-0.05 mg l^{-1} 범위로, 6월과 10월에

Table 1. Fluctuation of monthly temperature (°C) depending on sampling site during June to October in 2004-2006

Station	June		July		August		September		October	
	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.
1	22.20	1.808	24.19	1.566	26.74	0.372	24.79	0.172	21.37	0.954
2	21.75	1.429	24.09	1.633	25.84	0.490	24.63	0.556	21.27	1.154
3	19.56	0.930	21.85	1.324	23.98	0.403	24.36	0.126	21.27	1.089
4	20.53	0.910	22.30	2.009	25.11	0.673	24.64	0.336	21.27	1.235
5	21.41	1.029	22.89	1.266	25.11	0.480	24.63	0.170	21.35	1.084
6	23.19	1.501	24.76	1.201	29.23	1.627	24.63	0.792	20.01	1.100
7	22.08	2.062	25.25	0.885	27.28	0.986	24.92	0.362	20.87	0.715
8	21.97	1.318	23.97	1.410	26.63	2.156	24.67	1.576	20.76	0.674
9	19.65	1.339	22.49	1.385	24.52	2.795	24.53	0.515	21.10	1.103
10	21.22	2.706	23.30	2.047	25.15	1.396	24.71	0.924	23.11	2.226
11	20.13	1.891	22.98	1.812	24.20	0.722	24.40	0.941	22.33	1.127
12	19.85	1.858	22.89	1.084	24.55	1.299	25.13	0.527	21.95	0.745
13	20.33	1.497	21.98	1.074	25.20	0.461	24.88	0.402	21.85	0.470
14	20.61	1.137	21.84	1.062	26.09	1.502	24.89	0.404	21.81	0.713
15	19.34	1.081	21.81	0.961	24.98	0.298	24.81	0.311	21.63	0.825
16	19.25	1.062	20.77	0.720	23.98	1.582	24.74	0.258	21.68	0.901

Table 2. Fluctuation of monthly salinity depending on sampling site during June to October in 2004-2006

Station	June		July		August		September		October	
	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.
1	33.27	0.426	31.17	1.070	31.40	1.565	31.30	2.069	31.95	1.028
2	33.28	0.544	31.42	0.831	31.76	1.486	31.51	1.637	32.13	1.112
3	33.79	0.505	32.78	0.422	32.34	1.382	31.74	1.592	32.27	0.974
4	33.59	0.654	32.57	0.402	32.04	1.832	31.40	1.620	32.20	0.981
5	33.62	0.427	32.31	0.366	32.16	1.902	31.34	1.617	32.28	0.851
6	32.12	0.862	26.23	4.433	29.45	2.915	29.53	1.981	30.89	1.256
7	32.91	0.974	27.99	0.756	30.65	2.639	30.64	1.482	31.78	0.960
8	33.61	0.705	32.50	0.438	31.73	2.372	31.35	1.599	31.81	1.200
9	33.83	0.637	32.67	0.380	31.99	2.187	31.55	1.321	32.38	0.800
10	31.38	0.807	27.02	3.530	25.42	6.387	31.16	1.377	31.84	1.131
11	32.84	0.621	26.84	2.802	28.43	3.998	31.74	1.321	31.78	0.546
12	33.22	0.360	28.25	2.472	29.13	3.977	29.78	2.652	32.19	0.560
13	33.46	0.401	30.27	1.090	29.84	3.178	31.36	1.272	32.21	0.651
14	33.46	0.481	30.41	1.980	30.86	3.081	30.73	1.513	32.15	0.976
15	34.07	0.457	31.56	1.913	32.14	1.684	31.87	1.196	32.73	0.625
16	33.77	0.467	32.73	0.049	31.45	2.891	31.12	1.600	32.48	0.781

Table 3. Fluctuation of monthly chlorophyll *a* ($\mu\text{g l}^{-1}$) depending on sampling site during June to October in 2004-2006

Station	June		July		August		September		October	
	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.
1	3.85	4.915	14.80	15.593	2.82	1.592	4.38	1.787	3.66	4.136
2	2.88	3.441	10.35	10.040	1.89	0.638	4.12	1.859	2.27	2.296
3	1.77	1.308	3.46	2.604	2.39	2.563	3.80	2.729	2.98	2.972
4	1.69	1.801	10.30	4.358	2.56	0.477	3.88	2.476	6.42	6.854
5	2.62	1.998	8.07	1.718	3.23	2.129	4.43	2.608	4.09	2.999
6	3.78	3.123	16.35	9.875	3.10	0.448	5.46	2.287	8.06	5.169
7	2.14	1.393	11.23	7.149	2.23	0.350	4.75	2.469	3.02	1.737
8	2.54	2.053	3.30	1.175	2.38	0.850	4.66	2.806	3.10	2.880
9	1.80	1.198	4.88	0.581	2.71	1.040	1.67	0.055	1.84	1.674
10	5.97	4.879	15.95	16.676	11.30	10.826	9.52	13.619	2.89	2.753
11	4.47	3.139	12.89	11.623	15.94	11.726	7.23	9.027	4.36	4.312
12	4.03	3.887	10.72	9.096	14.14	11.981	7.66	9.251	3.27	4.128
13	2.18	1.449	13.58	8.350	7.42	6.267	5.98	3.874	4.50	4.304
14	1.54	0.884	10.80	5.504	3.74	2.296	3.95	2.380	3.18	0.667
15	1.94	1.238	3.77	0.423	1.72	0.350	4.65	3.710	2.22	1.893
16	2.02	1.101	8.12	2.192	2.58	1.241	5.29	4.011	1.99	1.873

Table 4. Fluctuation of monthly transparency (m) depending on sampling site during June to October in 2004-2006

Station	June		July		August		September		October	
	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.
1	3.00	1.323	2.33	1.474	2.27	0.404	1.90	0.458	1.53	0.058
2	2.50	1.323	2.87	1.677	3.20	1.587	1.53	0.462	1.93	0.751
3	1.93	0.115	1.47	0.643	2.17	0.153	0.97	0.252	1.43	0.404
4	2.83	1.155	5.10	1.153	2.97	0.404	1.60	0.361	2.37	0.777
5	3.20	1.442	2.33	0.611	2.00	0.200	1.07	0.115	2.17	0.473
6	2.10	1.015	2.57	0.814	1.70	0.656	1.30	0.700	1.37	0.493
7	3.07	1.692	2.53	0.058	2.00	0.500	1.37	0.551	1.53	0.643
8	2.73	1.553	2.70	0.436	2.17	0.351	2.03	1.193	1.93	0.513
9	2.50	1.323	3.07	0.379	2.60	1.058	2.00	1.000	1.77	0.404
10	1.67	0.289	1.77	0.321	2.03	0.950	2.23	0.681	2.20	0.794
11	2.47	1.550	2.20	1.212	1.97	0.723	2.17	0.907	2.50	1.323
12	4.07	2.572	2.40	0.693	2.47	1.168	2.67	1.137	3.87	1.848
13	5.13	2.122	2.83	0.351	3.70	2.433	3.17	2.082	3.00	1.000
14	4.97	1.450	3.57	1.401	4.73	3.326	3.20	0.721	2.57	1.290
15	4.87	3.252	5.83	2.021	5.70	1.253	2.67	1.528	3.90	2.152
16	3.33	2.318	4.33	2.363	4.67	1.528	2.57	0.404	2.17	1.193

비해 큰 차이를 보이고 있지 않다 (Table 5). 용존무기인도 용존무기질소처럼 월별 차이가 뚜렷이 나타나지 않았다 (Table 6). 6월에서 10월 사이에 0.004-0.016 mg l^{-1} 이며, 변화폭도 적었다. 7월부터 9월까지 COD는 1.0-1.6 mg l^{-1} 로 나타났으나, 6월과 10월에는 평균 1 mg l^{-1} 이하로 보였다 (Table 7). DIN/DIP 비율은 6-10월 동안 모두 10 이하로 보여 질소원이 제한요소로 나타났다 (Fig. 2). 용존무기질소와 클로로필 상관관계를 볼 때 8월을 제외한 나머지 조사에서는 모두 음의 상관성을 나타내었고, 특히 7월, 8월, 9월, 10월의 절대계수는 통계적으로 95% 이상의 신뢰도를 보여 용존질소와 클로로필 관계는 밀

접한 것으로 나타났다 (Table 8, 10). 또한 6월, 9월, 10월에는 용존인과 클로로필 관계는 음으로 나타난 반면에, 7월과 8월에는 양으로 높은 상관계수와 통계적으로 유의적 차이를 보이고 있다 (Table 9, 10).

3.1.2. 고흡연안

8월과 9월에 최고 23.98-25.11 $^{\circ}\text{C}$ 를 보여 6월과 10월에 비해 3-4 $^{\circ}\text{C}$ 높게 보였다 (Table 1). 또한 변화폭도 각 정점별 미미한 것으로 나타났다. 염분의 경우 9월에 31.34로 가장 낮았고, 6월, 7월, 8월, 10월 대부분 32.04-33.62 범위를 보여 월별 변화폭이 낮게 나타났다 (Table 2). 클로로필의 경우 8월과 9월에 비하여 오히려 7월에 정점 4에서 최고 10.3 $\mu\text{g l}^{-1}$

2004-2006년 6-10월 동안의 남해중부연안 해역특성 및 식물플랑크톤의 군집생태

Table 5. Fluctuation of monthly DIN (mg l^{-1}) depending on sampling site during June to October in 2004-2006

Station	June		July		August		September		October	
	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.
1	0.028	0.011	0.056	0.060	0.055	0.030	0.041	0.005	0.076	0.028
2	0.055	0.033	0.052	0.047	0.051	0.034	0.052	0.040	0.079	0.035
3	0.045	0.015	0.102	0.041	0.070	0.049	0.047	0.033	0.100	0.031
4	0.051	0.007	0.054	0.014	0.072	0.016	0.036	0.013	0.070	0.029
5	0.030	0.004	0.052	0.024	0.051	0.024	0.035	0.013	0.037	0.026
6	0.027	0.023	0.285	0.308	0.065	0.053	0.121	0.080	0.054	0.008
7	0.036	0.028	0.122	0.042	0.049	0.031	0.055	0.021	0.063	0.043
8	0.017	0.009	0.045	0.025	0.022	0.017	0.084	0.054	0.045	0.038
9	0.040	0.022	0.044	0.019	0.041	0.015	0.093	0.029	0.101	0.012
10	0.123	0.054	0.539	0.354	0.488	0.370	0.320	0.367	0.165	0.026
11	0.052	0.029	0.366	0.267	0.215	0.146	0.245	0.330	0.118	0.029
12	0.036	0.012	0.273	0.292	0.146	0.108	0.123	0.103	0.300	0.405
13	0.036	0.016	0.196	0.185	0.110	0.108	0.059	0.050	0.082	0.050
14	0.026	0.016	0.259	0.238	0.074	0.058	0.075	0.048	0.064	0.027
15	0.022	0.010	0.052	0.026	0.063	0.040	0.024	0.005	0.065	0.042
16	0.039	0.021	0.166	0.183	0.065	0.052	0.063	0.040	0.074	0.047

Table 6. Fluctuation of monthly DIP (mg l^{-1}) depending on sampling site during June to October in 2004-2006

Station	June		July		August		September		October	
	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.
1	0.009	0.008	0.005	0.003	0.016	0.008	0.007	0.005	0.008	0.006
2	0.007	0.006	0.004	0.002	0.009	0.007	0.008	0.006	0.008	0.005
3	0.010	0.010	0.009	0.005	0.065	0.100	0.009	0.005	0.010	0.003
4	0.011	0.006	0.006	0.009	0.013	0.002	0.008	0.007	0.006	0.007
5	0.013	0.003	0.007	0.010	0.011	0.005	0.009	0.007	0.004	0.004
6	0.006	0.007	0.004	0.004	0.011	0.003	0.027	0.001	0.015	0.005
7	0.009	0.005	0.003	0.003	0.011	0.005	0.018	0.007	0.012	0.005
8	0.008	0.005	0.006	0.004	0.010	0.005	0.016	0.009	0.009	0.012
9	0.009	0.003	0.005	0.003	0.010	0.004	0.016	0.008	0.011	0.005
10	0.009	0.007	0.020	0.017	0.012	0.010	0.027	0.017	0.022	0.005
11	0.011	0.003	0.019	0.016	0.010	0.006	0.023	0.018	0.017	0.007
12	0.007	0.006	0.012	0.013	0.011	0.005	0.018	0.014	0.010	0.010
13	0.005	0.007	0.011	0.015	0.008	0.005	0.006	0.006	0.009	0.008
14	0.006	0.006	0.015	0.021	0.006	0.004	0.010	0.013	0.009	0.008
15	0.006	0.006	0.003	0.003	0.002	0.002	0.005	0.003	0.005	0.003
16	0.010	0.007	0.012	0.019	0.004	0.001	0.009	0.011	0.010	0.007

Table 7. Fluctuation of monthly COD (mg l^{-1}) depending on sampling site during June to October in 2004-2006

Station	June		July		August		September		October	
	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.	Average	S.D.
1	0.67	0.229	1.65	0.630	1.13	0.250	1.58	0.547	0.95	0.278
2	0.73	0.064	1.24	0.666	1.08	0.181	1.05	0.145	0.97	0.397
3	0.56	0.114	0.59	0.331	0.63	0.093	1.07	0.152	0.79	0.384
4	0.67	0.245	1.10	0.351	0.86	0.625	1.03	0.333	1.16	0.329
5	0.63	0.271	1.01	0.351	0.84	0.546	1.03	0.175	0.97	0.360
6	1.14	0.375	2.45	0.642	2.00	0.402	1.53	0.510	1.22	0.089
7	1.09	0.201	2.06	0.994	1.15	0.623	1.19	0.197	0.91	0.184
8	0.61	0.320	1.23	0.524	1.02	0.374	1.17	0.320	1.06	0.309
9	0.56	0.127	1.24	0.600	0.97	0.306	0.70	0.169	0.62	0.203
10	0.85	0.354	2.32	1.163	1.78	1.314	1.46	0.751	0.82	0.251
11	0.97	0.302	1.79	1.098	1.80	0.557	1.75	0.668	0.82	0.232
12	1.00	0.375	1.43	0.651	1.69	0.950	1.35	0.581	4.40	5.030
13	1.07	0.463	1.53	0.347	1.57	0.738	1.31	0.197	0.89	0.591
14	0.86	0.253	1.68	0.637	1.39	0.622	1.25	0.402	0.97	0.081
15	0.54	0.121	0.80	0.442	0.79	0.633	1.85	1.228	0.94	0.793
16	0.73	0.259	1.41	0.591	0.89	0.537	1.34	0.351	0.68	0.522

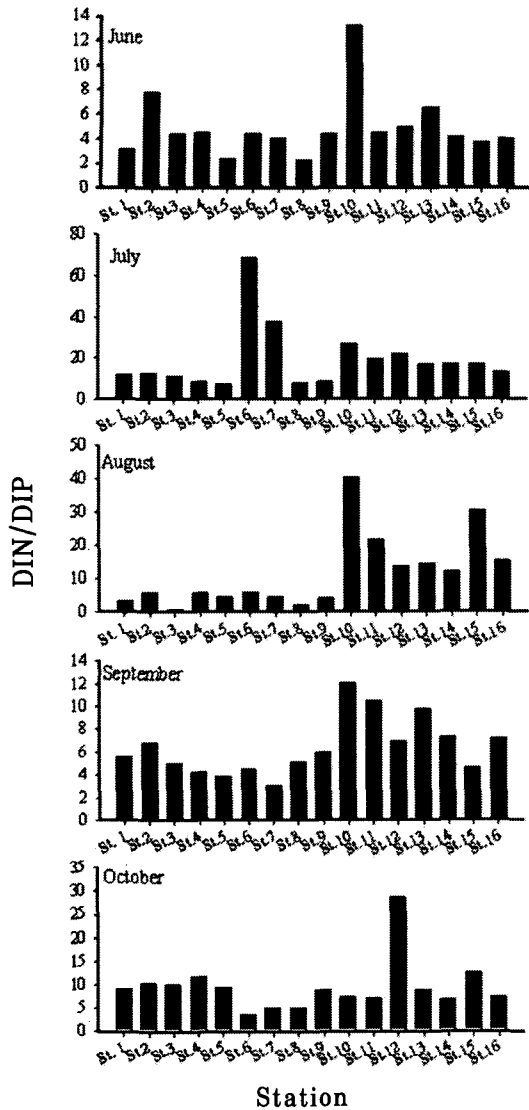


Fig. 2. The ratio of DIN:DIP at sampling sites.

로 가장 낮은 6월에 비하면 약 5배 정도 높은 값을 보이고 있다 (Table 3). 투명도는 6월, 8월, 9월, 10월 모두 대부분 2 m 안팎으로 보였으나, 7월 정점 4에서 약 2배 정도 높은 5.1 m을 보이고 있다 (Table 4). 6월에서 10월동안 용존무기질소 함량은 0.03-0.10 mg l⁻¹ 범위를 보여주고 있으며, 정점 3의 경우 7월과 8월에 변동 폭이 6월, 9월, 10월에 비하여 크게 나타났다 (Table 5). 특히, 7월의 정점 3은 다른 정점에 비하여 약 2배 정도 많은 0.1 mg l⁻¹ 이었다. 용존무기인도 용존무기질소처럼 6월에서 10월 동안 0.004-0.065 mg l⁻¹ 범위를 보이고 있으나, 8월에 정점 3에서 5배 정도 높은 0.06 mg l⁻¹을 보이는 것이 큰 특징으로 나타나고 있다 (Table 6). COD의 경우 6월에서 10월까지의 범위는 0.5-1.0 mg l⁻¹로 월별 변화는 크지 않고, 특히 7월, 8월, 9월도 6월과 10월에 비하면 거의 비슷한 함량을 보이고 있다 (Table 7). DIN/DIP 비율은 월별에 상관없이 10 이하의 낮은 값을 보이고 있다 (Fig. 2). 클로로필과 DIN과의 상관관계에서 보면 6월, 7월, 9월, 10월 모두 음으로 나타난 반면에, 8월에는 양으로 적절한 절대상수 값을 보이고 있다 (Table 8). DIP의 경우 6월과 7월은 거의 평행선을 보이고 있으나, 9월과 10월에는 음의 상관계수를 나타내고 있다 (Table 9). 통계적 유의 수준에서도 DIN과 클로로필의 관계는 7월, 8월, 9월에 99% 이상의 신뢰수준을 나타내고 있으며, DIP의 경우 7월, 8월, 9월에서 99% 이상의 매우 높은 수준을 보이고 있다.

3.1.3. 여자만

3년 동안의 여자만 수온변화는 6월에 22.08-23.19°C에서 7월, 8월, 9월까지 24°C 이상을 유지하는 고수온을 보였으나, 10월에는 20°C 정도를 보이고 있다 (Table 1). 염분은 26.23-32.91 범위로 7월에 평균값이 많이 낮아졌고, 변화폭도 4.4 정도로 매우 높았다

Table 8. Correlation between DIN (mg l⁻¹) and chlorophyll a (µg l⁻¹) in Dukyang bay, Goheung, Yeoja bay, Gamak bay, Gwangyang bay, Yeosu, and Namhae during June to October in 2004-2006

Sampling	June		July		August		September		October	
	Regression	R2	Regression	R2	Regression	R2	Regression	R2	Regression	R2
Dukyang bay	y=-48.169x+5.3573	0.11	y=-149.32x+20.599	0.35	y=25.673x+0.9976	0.38	y=-37.178x+5.9809	0.35	y=-58.093x+7.467	0.28
Goheung	y=-38.225x+3.6385	0.09	y=-67.546x+11.951	0.34	y=37.903x+0.2842	0.44	y=-96.999x+7.8513	0.71	y=-40.319x+7.2717	0.12
Yeoja bay	y=22.92x+2.2392	0.05	y=-6.9045x+15.198	0.03	y=1.8651x+2.5603	0.01	y=-19.597x+6.8272	0.32	y=16.716x+4.5566	0.01
Gamak bay	y=-29.153x+3.0074	0.13	y=-28.625x+5.3747	0.22	y=21.475x+1.8672	0.19	y=-10.893x+4.129	0.03	y=-14.491x+3.5268	0.06
Gwangyang bay	y=25.563x+2.98	0.13	y=-29.258x+27.659	0.44	y=14.402x+8.5607	0.16	y=-19.586x+13.911	0.35	y=-32.144x+8.1697	0.11
Yeosu	y=2.3505x+2.5076	0.00	y=-16.385x+15.678	0.25	y=31.263x+4.9886	0.11	y=-41.811x+9.4455	0.28	y=-7.2098x+4.7218	0.30
Namhae	y=31.494x+1.0133	0.27	y=5.2834x+5.3722	0.06	y=8.6433x+1.6007	0.14	y=-32.329x+6.3685	0.09	y=-40.569x+4.9229	0.94

Dukyang bay contains the stations of 1 and 2; Goheung contains the stations of 3, 4, and 5; Yeoja bay contains the stations of 6 and 7; Gamak bay contains the stations of 8 and 9; Gwangyang bay contains the stations of 10 and 11; Yeosu contains the stations of 12, 13, and 14; Namhae contains the stations of 15 and 16 (see Fig. 1)

2004-2006년 6-10월 동안의 남해중부연안 해역특성 및 식물플랑크톤의 군집생태

Table 9. Correlation between DIP (mg l^{-1}) and chlorophyll a ($\mu\text{g l}^{-1}$) in Dukyang bay, Goheung, Yeoja bay, Gamak bay, Gwangyang bay, Yeosu, and Namhae during June to October in 2004-2006

Sampling	June		July		August		September		October	
	Regression	R2	Regression	R2	Regression	R2	Regression	R2	Regression	R2
Dukyang bay	$y=-428.19x+6.7527$	0.50	$y=4550.4x-7.146$	0.91	$y=97.5x+1.1815$	0.36	$y=-41.071x+4.5569$	0.01	$y=-512.9x+7.0673$	-0.69
Goheung	$y=14.556x+2.1942$	0.00	$y=31.969x+7.0409$	0.00	$y=18.114x+2.1858$	0.35	$y=-354.24x+7.1491$	0.75	$y=-429.74x+7.3432$	-0.25
Yeoja bay	$y=271.01x+0.9652$	0.41	$y=2232.8x+5.5255$	0.88	$y=-11.322x+2.7904$	0.00	$y=-21.347x+5.5836$	0.00	$y=784.65x-5.2439$	0.68
Gamak bay	$y=-3.7528x+2.1969$	0.00	$y=-172.13x+4.9926$	0.24	$y=135.18x+1.1921$	0.44	$y=-163.12x+5.785$	0.25	$y=-128.9x+3.7589$	0.22
Gwangyang bay	$y=-422.42x+9.5848$	0.33	$y=-839.58x+30.821$	0.93	$y=-843.11x+22.905$	0.34	$y=-578.66x+22.785$	0.73	$y=-286.68x+9.1912$	0.26
Yeosu	$y=-93.871x+3.1707$	0.05	$y=-239.82x+14.828$	0.25	$y=839.62x+1.6095$	0.21	$y=-290.81x+9.1684$	0.36	$y=-228.82x+5.8699$	0.30
Namhae	$y=96.02x+1.2326$	0.30	$y=21.232x+5.786$	0.01	$y=103.29x+1.8316$	0.03	$y=-265.07x+6.7982$	0.33	$y=-238.13x+3.9301$	-0.59

Dukyang bay contains the stations of 1 and 2; Goheung contains the stations of 3, 4, and 5; Yeoja bay contains the stations of 6 and 7; Gamak bay contains the stations of 8 and 9; Gwangyang bay contains the stations of 10 and 11; Yeosu contains the stations of 12, 13, and 14; Namhae contains the stations of 15 and 16 (see Fig. 1)

Table 10. Results of t -Test on correlation between DIN ($\mu\text{mol l}^{-1}$), DIP ($\mu\text{mol l}^{-1}$), and chlorophyll a ($\mu\text{g l}^{-1}$)

Sampling	DIN										DIP									
	June		July		August		September		October		June		July		August		September		October	
	t	df	t	df	t	df	t	df	t	df	t	df	t	df	t	df	t	df	t	df
Dukyang bay	-2.12	10	-2.56*	10	-4.70**	10	-6.30***	10	-2.28*	10	-2.14	10	-2.57*	10	-4.78**	10	-6.35***	10	-2.34*	10
Goheung	-3.82*	16	-5.35**	16	-4.48**	16	-5.26***	16	-3.08*	16	-3.88*	16	-5.40***	16	-4.68**	16	-5.30***	16	-3.12*	16
Yeoja bay	-3.06*	10	-4.05*	10	-10.66***	10	-5.26***	16	-3.03*	10	-3.08*	10	-4.11**	10	-10.87***	10	-5.74**	10	-3.06*	10
Gamak bay	-3.35*	10	-8.27***	10	-7.05***	10	-3.11*	10	-2.65*	10	-3.39*	10	-8.35***	10	-7.12***	10	-3.18*	10	-2.72*	10
Gwangyang bay	-3.34*	10	-2.63*	10	-3.12*	10	-1.90	10	-2.55*	10	-3.39*	10	-2.72*	10	-3.20*	10	-1.96*	10	-2.64*	10
Yeosu	-3.18	16	-2.63*	10	-3.02*	16	-3.20*	16	-3.41*	10	-3.22*	16	-5.07**	16	-2.86*	14	-3.24*	16	-3.55*	16
Namhae	-3.18	16	-2.63*	10	-3.02*	16	-3.47*	10	-2.94*	10	-4.59**	10	-5.25**	10	-5.58**	10	-3.50*	10	-3.03*	10

Dukyang bay contains the stations of 1 and 2; Goheung contains the stations of 3, 4, and 5; Yeoja bay contains the stations of 6 and 7; Gamak bay contains the stations of 8 and 9; Gwangyang bay contains the stations of 10 and 11; Yeosu contains the stations of 12, 13, and 14; Namhae contains the stations of 15 and 16 (see Fig. 1). * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

(Table 2). 또한 7월경 클로로필도 최고 $16.3 \mu\text{g l}^{-1}$ 였으나, 나머지 6월, 8월, 9월, 10월은 $2-3 \mu\text{g l}^{-1}$ 범위를 보이고 있다 (Table 3). 투명도는 월별 변화폭이 크게 나타나지 않고, 1.3-3.0 m 범위를 보이고 있다 (Table 4). 7월 용존무기질소의 함량이 0.28mg l^{-1} 로 6월, 8월, 9월, 10월에 비하여 최고 10배 정도 높은 값을 보였다 (Table 5). 여름철 8월, 9월에도 용존무기질소의 함량은 $0.04-0.12 \text{mg l}^{-1}$ 로 6월과 10월에 비하면 현저한 차이를 볼 수 없었다. 반면에, 7월에 용존무기인은 0.003mg l^{-1} 범위로 6월, 8월, 9월, 10월에 비하면 오히려 낮은 값을 보였다 (Table 6). COD는 월별에 관계없이 $0.9-2.0 \text{mg l}^{-1}$ 범위를 보였다 (Table 7). 6월, 8월, 9월, 10월 모두 DIN/DIP 비율이 16 이하의 낮은 값을 보였으나, 7월에 최고 70 가까이 상승하는 경향을 보였다 (Fig. 2). 6월, 7월, 8월, 10월의 용존무기질소와 클로로필과의 관계는 완만한 평행선을 나타낸 반면에, 9월에는 음의 상관성을 보이고 있다 (Table 8). 6월, 7월, 10월의 용존무기인과 클로로필은 양의 상관성을 나타내고 있고, 절대상수의 값도 매우 높았다 (Table 9). 8월

과 9월에는 음의 상관성을 나타내고 있으나, 절대값은 0으로 매우 낮았다. 용존무기질소와 클로로필 상관계수의 8월과 9월에서 99% 이상의 유의성을 보여, 특히 여름철에는 완전히 상이한 상관성을 보이고 있다 (Table 10). 용존무기인은 여름철에 99% 이상의 높은 유의성을 보여, 용존무기질소와는 달리 여름철에 클로로필과의 상관성이 없는 것으로 나타났다.

3.1.4. 가막만

여름철에는 $22.49-26.63^\circ\text{C}$ 범위를 보이고 있고, 6월과 10월에는 여름철에 비해 6°C 정도 낮은 20°C 정도를 나타내고 있다 (Table 1). 염분은 월별에 관계없이 $31.35-33.83$ 범위를 보이고 있고 변화폭도 1 이하로 낮게 보였다 (Table 2). 클로로필의 경우, 여름철 범위가 $1.6-4.6 \mu\text{g l}^{-1}$ 로 6월과 10월 $1.8-3.1 \mu\text{g l}^{-1}$ 에 비하면 거의 비슷한 값을 나타내고 (Table 3). 투명도의 경우 월별에 상관없이 $1.7-2.7 \text{m}$ 범위로, 여름철에도 6월과 10월과는 거의 비슷한 투명도를 나타내고 있다 (Table 4). 용존무기질소의 함량변화

Table 11. Monthly dominant phytoplankton [over 50% of total cell number (cells ml⁻¹)] in Dukyung bay, Goheung, Yeolja bay, Gamak bay, Gwangyang bay, Yeosu, and Namhae during June to October in 2004–2006. Hyphen indicates below 50% of total cell number (cells ml⁻¹)

Sampling	2004				
	June (%)	July (%)	August (%)	September (%)	October (%)
St.1	<i>Heterosigma akashiwo</i> (54.7)	-	<i>Skeletonema costatum</i> (57.7)	<i>Pseudonitzschia</i> spp. (74.0)	<i>Chaetoceros</i> spp. (56.2)
St.2	<i>Eucampia zoodiacus</i> (55.4)	<i>Skeletonema costatum</i> (58.4)	<i>Skeletonema costatum</i> (86.4)	-	<i>Rhizosolenia</i> spp. (80.0)
St.3	<i>Prorocentrum minimum</i> (55.0)	<i>Ceratium fusus</i> (52.3)	<i>Skeletonema costatum</i> (50.4)	<i>Cosinodiscus gigas</i> (70.8)	-
St.4	<i>Chaetoceros</i> spp. (52.2)	<i>Pseudonitzschia</i> spp. (68.5)	-	<i>Cosinodiscus gigas</i> (59.1)	-
St.5	<i>Chaetoceros</i> spp. (64.4)	<i>Pseudonitzschia</i> spp. (70.0)	-	<i>Pseudonitzschia</i> spp. (51.5)	<i>Chaetoceros</i> spp. (58.0)
St.6	<i>Chaetoceros</i> spp. (65.3)	-	<i>Skeletonema costatum</i> (84.3)	<i>Pseudonitzschia</i> spp. (69.5)	<i>Cosinodiscus gigas</i> (54.0)
St.7	<i>Chaetoceros</i> spp. (73.8)	<i>Pseudonitzschia</i> spp. (55.0)	<i>Pseudonitzschia</i> spp. (71.1)	<i>Pseudonitzschia</i> spp. (50.9)	<i>Chaetoceros</i> spp. (75.9)
St.8	-	<i>Skeletonema costatum</i> (56.4)	<i>Skeletonema costatum</i> (70.5)	<i>Skeletonema costatum</i> (81.1)	<i>Chaetoceros</i> spp. (60.8)
St.9	-	<i>Thalassiothrix longissima</i> (83.5)	-	-	-
St.10	<i>Eucampia zoodiacus</i> (62.6)	<i>Skeletonema costatum</i> (100)	<i>Skeletonema costatum</i> (76.6)	<i>Skeletonema costatum</i> (100)	<i>Chaetoceros</i> spp. (61.2)
St.11	-	<i>Skeletonema costatum</i> (100)	<i>Skeletonema costatum</i> (79.9)	<i>Skeletonema costatum</i> (99.1)	<i>Chaetoceros</i> spp. (76.3)
St.12	-	<i>Skeletonema costatum</i> (72.2)	<i>Protoperdinium</i> spp. (69.7)	<i>Skeletonema costatum</i> (55.9)	<i>Chaetoceros</i> spp. (52.0)
St.13	-	<i>Skeletonema costatum</i> (80.7)	-	-	<i>Skeletonema costatum</i> (58.0)
St.14	<i>Leptocylindrus danicus</i> (86.5)	<i>Skeletonema costatum</i> (91.0)	<i>Chaetoceros</i> spp. (60.2)	<i>Skeletonema costatum</i> (71.6)	-
St.15	-	<i>Skeletonema costatum</i> (68.6)	-	-	<i>Chaetoceros</i> spp. (50.3)
St.16	-	<i>Skeletonema costatum</i> (82.5)	<i>Chaetoceros</i> spp. (64.8)	<i>Skeletonema costatum</i> (81.8)	-
Sampling	2005				
	June (%)	July (%)	August (%)	September (%)	October (%)
St.1	<i>Skeletonema costatum</i> (54.6)	<i>Skeletonema costatum</i> (69.3)	-	-	-
St.2	<i>Skeletonema costatum</i> (57.3)	-	-	-	<i>Chaetoceros</i> spp. (64.6)
St.3	-	-	-	-	-
St.4	<i>Skeletonema costatum</i> (58.6)	-	-	<i>Pseudonitzschia</i> spp. (50.7)	<i>C. pseudocalcitrans</i> (58.9)
St.5	-	<i>Cosinodiscus gigas</i> (100)	-	-	-
St.6	<i>Chaetoceros</i> spp. (50.0)	<i>Cosinodiscus gigas</i> (80.8)	<i>Ceratium furca</i> (52.6)	<i>Pseudonitzschia</i> spp. (73.9)	-
St.7	<i>Chaetoceros</i> spp. (82.8)	<i>Cosinodiscus gigas</i> (68.7)	-	<i>Pseudonitzschia</i> spp. (60.0)	-
St.8	<i>Chaetoceros</i> spp. (66.4)	<i>Pseudonitzschia</i> spp. (64.9)	-	-	-
St.9	<i>Chaetoceros</i> spp. (62.2)	<i>Skeletonema costatum</i> (53.0)	-	<i>Pseudonitzschia</i> spp. (68.3)	-
St.10	-	<i>Skeletonema costatum</i> (65.8)	-	-	-
St.11	-	<i>Skeletonema costatum</i> (100)	-	<i>Skeletonema costatum</i> (86.2)	<i>Leptocylindrus danicus</i> (62.8)
St.12	-	<i>Pseudonitzschia</i> spp. (51.9)	<i>Skeletonema costatum</i> (70.4)	-	-
St.13	-	<i>Chaetoceros</i> spp. (100)	-	-	-
St.14	<i>Leptocylindrus danicus</i> (88.7)	-	-	-	<i>Cosinodiscus gigas</i> (75.0)
St.15	-	-	-	-	<i>Pseudonitzschia</i> spp. (72.7)
St.16	<i>Chaetoceros</i> spp. (55.6)	<i>Ceratium</i> spp. (69.5)	<i>Skeletonema costatum</i> (53.6)	-	<i>Cosinodiscus gigas</i> (57.0)
Sampling	2006				
	June (%)	July (%)	August (%)	September (%)	October (%)
St.1	-	<i>Chaetoceros</i> spp. (66.7)	-	<i>Chaetoceros</i> spp. (60.8)	-
St.2	-	-	-	-	-
St.3	-	<i>Cosinodiscus gigas</i> (100)	<i>Chaetoceros</i> spp. (65.5)	-	-
St.4	-	<i>Eucampia zoodiacus</i> (51.7)	-	-	-
St.5	-	<i>Eucampia zoodiacus</i> (70.2)	-	-	-
St.6	-	-	-	-	-
St.7	-	-	-	-	-
St.8	<i>Leptocylindrus danicus</i> (52.8)	-	<i>C. pendulus</i> (50.3)	-	-
St.9	-	-	-	-	-
St.10	-	-	<i>Skeletonema costatum</i> (79.4)	-	-
St.11	-	-	<i>Skeletonema costatum</i> (82.2)	<i>Skeletonema costatum</i> (67.9)	<i>Skeletonema costatum</i> (58.2)
St.12	-	<i>Skeletonema costatum</i> (58.9)	<i>Skeletonema costatum</i> (92.4)	<i>Skeletonema costatum</i> (55.6)	-
St.13	<i>Leptocylindrus danicus</i> (55.1)	<i>Skeletonema costatum</i> (58.1)	<i>Skeletonema costatum</i> (54.6)	-	-
St.14	<i>Leptocylindrus danicus</i> (64.9)	-	-	-	<i>Skeletonema costatum</i> (71.5)
St.15	<i>Leptocylindrus danicus</i> (57.7)	<i>Chaetoceros</i> spp. (77.7)	<i>C. pendulus</i> (56.1)	-	-
St.16	-	-	<i>Skeletonema costatum</i> (61.2)	-	-

2004-2006년 6-10월 동안의 남해중부연안 해역특성 및 식물플랑크톤의 군집생태

Table 12. Similarity matrix of phytoplankton in Dukyang bay, goheung, Yeoja bay, Gamak bay, Gwangyang bay, Yeosu, and Namhae during June to October in 2004-2006 using Primer ver. 5.0

		June														
Sampling	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.10	St.11	St.12	St.13	St.14	St.15	St.16
St.1																
St.2	22															
St.3	19	18														
St.4	13	20	18													
St.5	18	16	19	12												
St.6	10	19	19	16	15											
St.7	16	17	21	16	16	14										
St.8	18	13	16	15	19	19	16									
St.9	18	15	14	16	15	16	17	13								
St.10	19	23	23	15	21	19	20	20	22							
St.11	22	20	21	18	18	19	18	19	16	19						
St.12	17	19	18	16	19	19	20	17	18	16	15					
St.13	18	13	14	16	15	15	16	13	6	21	16	17				
St.14	19	20	17	17	21	20	22	15	16	18	17	14	17			
St.15	19	16	15	16	16	17	17	14	7	23	15	17	9	16		
St.16	20	19	14	18	21	21	22	15	16	20	17	14	16	13	16	

		July														
Sampling	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.10	St.11	St.12	St.13	St.14	St.15	St.16
St.1																
St.2	23															
St.3	18	21														
St.4	22	20	23													
St.5	19	23	21	16												
St.6	11	23	15	22	20											
St.7	9	21	13	21	19	9										
St.8	20	20	20	23	26	22	20									
St.9	24	21	21	24	27	25	23	19								
St.10	18	21	20	22	24	19	18	18	24							
St.11	14	25	20	24	20	17	16	22	27	14						
St.12	18	20	18	20	15	20	17	23	23	20	20					
St.13	20	21	21	19	15	21	21	25	26	22	21	15				
St.14	22	9	19	19	22	22	20	18	20	18	23	16	20			
St.15	20	20	21	15	13	21	18	25	26	21	22	16	16	19		
St.16	23	19	24	15	19	23	22	24	25	22	25	19	20	17	16	

		August														
Sampling	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.10	St.11	St.12	St.13	St.14	St.15	St.16
St.1																
St.2	22															
St.3	15	15														
St.4	18	15	14													
St.5	12	22	14	19												
St.6	19	21	22	17	22											
St.7	20	23	23	19	23	12										
St.8	23	17	22	21	23	14	17									
St.9	19	10	17	15	19	19	20	15								
St.10	19	19	21	18	22	16	16	19	16							
St.11	16	22	15	19	15	17	19	18	20	20						
St.12	21	27	24	25	24	20	16	23	25	22	20					
St.13	18	20	12	18	18	19	21	20	22	21	11	22				
St.14	20	18	15	16	20	18	20	19	21	20	14	23	10			
St.15	22	21	18	19	22	18	16	19	23	23	16	20	16	13		
St.16	24	24	26	23	26	19	15	17	20	20	23	22	25	25	22	

Table 12. Continued

Sampling	September															
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.10	St.11	St.12	St.13	St.14	St.15	St.16
St.1																
St.2	14															
St.3	19	17														
St.4	14	8	14													
St.5	16	12	15	9												
St.6	13	15	15	12	14											
St.7	18	16	18	16	13	19										
St.8	11	12	15	11	13	8	17									
St.9	5	14	17	12	14	11	17	9								
St.10	21	20	13	18	14	18	16	18	19							
St.11	18	19	13	19	19	15	20	14	16	16						
St.12	19	19	22	19	17	21	20	20	19	21	24					
St.13	16	20	24	20	20	19	22	18	17	25	22	18				
St.14	21	20	22	18	17	20	17	20	20	22	25	21	22			
St.15	21	24	25	23	23	22	26	21	20	27	25	19	17	25		
St.16	19	16	20	15	13	18	12	17	18	19	23	21	23	13	26	
Sampling	October															
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.10	St.11	St.12	St.13	St.14	St.15	St.16
St.1																
St.2	22															
St.3	19	18														
St.4	13	20	18													
St.5	18	16	19	12												
St.6	10	19	19	16	15											
St.7	16	17	21	16	16	14										
St.8	18	13	16	15	19	19	16									
St.9	18	15	14	16	15	16	17	13								
St.10	19	23	23	15	21	19	20	20	22							
St.11	22	20	21	18	18	19	18	19	16	19						
St.12	17	19	18	16	19	19	20	17	18	16	15					
St.13	18	13	14	16	15	15	16	13	6	21	16	17				
St.14	19	20	17	17	21	20	22	15	16	18	17	14	17			
St.15	19	16	15	16	16	17	17	14	7	23	15	17	9	16		
St.16	20	19	14	18	21	21	22	15	16	20	17	14	16	13	16	

Dukyang bay contains the stations of 1 and 2; Goheung contains the stations of 3, 4, and 5; Yeolja bay contains the stations of 6 and 7; Gamak bay contains the stations of 8 and 9; Gwangyang bay contains the stations of 10 and 11; Yeosu contains the stations of 12, 13, and 14; Namhae contains the stations of 15 and 16 (see Fig. 1)

를 보면 6월부터 0.01-0.04 mg l⁻¹ 범위에서 9월까지 조금씩 증가하여 9월에 정점 9에서 최고 0.09 mg l⁻¹ 을 보이다가, 10월에는 0.05 mg l⁻¹까지 감소하는 경향을 보였다 (Table 5). 반면에, 용존무기인은 여름철 8월과 9월에 최고 0.01 mg l⁻¹로 6월과 10월에 비하면 큰 차이를 볼 수 없었다 (Table 6). COD의 평균범위는 0.5-1.2 mg l⁻¹로 여름철에도 1 mg l⁻¹ 정도를 보여 월별로 큰 차이를 나타내고 있지 않다 (Table 7). DIN/DIP 비율을 보면 대부분 월별에 관계없이 16 이하의 낮은 값을 보이고 있고, 특히 8월의 경우 5 이하로 매우 낮게 나타났다 (Fig. 2). 용존무기질소와 클로로필의 상관관계를 보면, 6월, 7

월, 9월, 10월 모두 음의 상관성을 나타내었고, 8월에는 오히려 양의 관계를 보였으나, 절대상수는 높지 않게 나타났다 (Table 8). 또한 8월에서 용존무기인과 클로로필의 관계는 양의 상관성을 보였고, 절대 값도 높게 나타났다 (Table 9). 통계적으로도 8월의 용존무기질소와 용존무기인과 클로로필의 상관성은 99% 이상의 신뢰수준으로 유의적으로 나타났다 (Table 10).

3.1.5. 평양

6월에서 10월까지 평균수온의 범위는 20.13-25.15°C 정도로 10월에는 8월과 9월의 최고수온 25°C에 큰

차이를 나타내지 않는 23°C 전후로 보였다 (Table 1). 6월경에 염분 31 전후로 나타났으나, 7월과 8월에 25.42-28.43 범위를 보여 6월, 9월, 10월에 비하여 상당히 낮은 염분을 나타내었다 (Table 2). 클로로필의 경우 7월, 8월, 9월에 7.2-15.9 $\mu\text{g l}^{-1}$ 를 보여 6월과 10월에 비하여 최고 5배 정도 높게 보였다 (Table 3). 그러나 투명도는 월별에 관계없이 1.6-2.5 m를 보이고 있다 (Table 4). 7월과 8월에 정점 10에서 최고 0.53 $\mu\text{mol l}^{-1}$ 를 보여 6월과 10월에 비하여 최고 10배 정도 높은 용존무기질소를 보이고 있고, 7월부터 9월까지 0.2 mg l^{-1} 이상을 보여 6월과 10월과는 현저한 차이를 나타내고 있다 (Table 5). 그와 반대로, 용존무기인은 여름철에도 0.01-0.02 mg l^{-1} 로 6월과 10월에 비하면 차이를 나타내지 못하고 있다 (Table 6). COD의 경우 6월과 10월에는 0.9 mg l^{-1} 를 보여 여름철 1.4-2.3 mg l^{-1} 과는 큰 차이를 나타내지 못하고 있다 (Table 7). 여름철에는 DIN 증가로 DIN/DIP 비율이 16 이상의 높은 값을 나타내고 있고, 특히 8월경 정점 10에서 DIN/DIP 비율이 40 정도로 매우 높았다 (Fig. 2). 그러나 6월과 10월에서는 16 이하의 낮은 값을 보이고 있다. 용존무기질소와 클로로필 상관성을 보면 7월과 9월에는 음으로 나타내고 있으나, 8월에는 오히려 양의 상관성을 보여 6월, 10월과 거의 비슷한 상관성과 절대상수를 나타내고 있다 (Table 8). 또한 용존무기인과 클로로필 상관성은 여름철에 음으로 급격한 절대 값을 보여 6월과 10월에 비하여 현저한 차이를 보이고 있다 (Table 9). 그러나 여름철에 용존무기질소 및 용존무기인과 클로로필 상관성이 통계적으로 99% 이상의 유의적 수준에서는 차이를 나타내지 못하고 있다 (Table 10).

3.1.6. 여수

평균수온의 범위를 보면 7월, 8월, 9월에 21.84-26.09°C 범위를 보여주고 있어서, 6월과 10월에 비하여 1-4°C 차이를 나타내고 있다 (Table 1). 염분의 경우, 6월과 10월에는 32 전후로 보였으나, 여름철에는 28.25-30.86 정도로 낮게 나타났다 (Table 2). 7월과 8월에서 정점 12에서 최고 14 $\mu\text{g l}^{-1}$ 를 보여, 6월과 10월에 비하면 최고 10배 이상 높게 나타나고 있다 (Table 3). 또한 8월의 경우 정점별로 약 4배 정도 차이를 보여, 여수연안의 클로로필 농도는 여름철과 6월과 10월을 비교해 보면 현저한 차이를 볼 수 있었다. 그러나 투명도는 3-5 m 정도를 보여 월별 큰 차이를 나타내지 못하고 있다 (Table 4). 용존무기질소는 6월과 10월에는 0.02-0.08 mg l^{-1} 범위를 보여주고 있으나, 여름철과 비교해 보면 최고 10배까지 농도 차이를 보이고 있어, 여름철과는 현

저한 대조를 이루고 있다 (Table 5). 용존무기인의 경우 여름철과 6월과 10월과는 큰 차이를 보이지 않고 대체적으로 0.005-0.018 mg l^{-1} 로 나타내고 있다 (Table 6). 여름철 COD의 평균범위는 1.2-1.6 mg l^{-1} 로 6월과 10월과 비교해 보면 거의 비슷한 수준을 나타내고 있다 (Table 7). 7월경 용존무기질소의 함량이 급격하게 높아짐에 따라 DIN/DIP가 20에 근접하는 경향을 보였다 (Fig. 2). 그러나 8월과 9월도 16 이하의 낮은 값을 보여주고 있다. 10월경 정점 12에서 DIN/DIP 비율이 30까지 나타내었고, 나머지 정점 13과 14는 DIN/DIP 비율이 10 이하의 낮은 값을 보이고 있다. 용존무기질소와 클로로필 관계는 7월, 9월, 10월에는 음의 상관성을 보이고 있으나, 절대상수의 값도 대체적으로 낮고 완전한 관계를 보여주고 있다 (Table 8). 반면에, 용존무기인과 클로로필 관계는 6월, 7월, 9월, 10월에서 음으로 밀접하게 나타났으나, 절대상수의 값은 낮았다 (Table 9). 8월에는 용존무기인과 클로로필은 양으로 매우 밀접한 상관성을 나타냈다. 그러나 통계적으로 보면 유의수준이 95% 범위 내에서 차이가 있는 것으로 나타났다 (Table 10).

3.1.7. 남해

8월과 9월에 최고 24.08°C 정도를 나타내고 있으며, 7월은 6월, 10월과 거의 유사한 20°C 전후를 보이고 있다 (Table 1). 여름철 염분의 범위는 31.12-32.73로 6월과 10월에 비하면 큰 차이를 볼 수 없었다 (Table 2). 클로로필의 경우 6월에서 10월까지 2-4 $\mu\text{g l}^{-1}$ 로 여름철과 비교해 보면 거의 비슷한 수준을 보이고 있다 (Table 3). 오히려 8월보다 9월에 변동폭도 크고 평균함량도 2배 정도 많은 4.6 $\mu\text{g l}^{-1}$ 을 나타내고 있다. 투명도는 7월과 8월에 6m까지 나타내고 있다 (Table 4). 용존무기질소는 7월 정점 16에서 0.1 mg l^{-1} 로 6월의 0.02 mg l^{-1} 에 비하면 5배 정도 높은 함량을 보이고 있다 (Table 5). 특히 10월경에도 거의 여름철과 유사한 0.06 mg l^{-1} 범위를 나타내고 있다. 그러나 용존무기인의 경우 6월과 10월에 비하여 여름철에 오히려 낮은 0.002-0.012 mg l^{-1} 을 보였다 (Table 6). 특히, 8월경에 정점 15에서 가장 낮은 0.002 mg l^{-1} 을 나타내었다. COD는 6월부터 8월까지 1 mg l^{-1} 이하의 낮은 값을 보였으나, 9월에 최고 1.8 mg l^{-1} 까지 상승되는 경향을 나타내었다 (Table 7). DIN/DIP 비율에서 보면 대체적으로 16 이하의 낮은 경향을 나타내고 있으나, 8월경 정점 16에서 30까지 근접한 이유는 용존무기질소의 함량이 많아졌기 때문이다 (Fig. 2). 용존무기질소와 클로로필 관계도 6월부터 8월까지 양의 상관성을 보였으나, 9월부터 10월까지는 음의

상관성을 보였다 (Table 8). 용존무기인도 용존무기 질소처럼 6월부터 8월까지 양의 상관성으로 나타났으나, 9월과 10월에는 음으로 밀접한 상관성을 보였다 (Table 9). 이러한 관계식이 95% 유의적으로 차이를 보였으나, 용존무기인도 용존무기 질소보다 99% 신뢰 범위 내에서 7월과 8월에 유의적 차이를 나타내었다 (Table 10).

3.2. 식물플랑크톤

Fig. 3는 2004년부터 2006년까지 6-10월 동안 월별 식물플랑크톤의 평균 세포수를 나타낸 것으로, 6월에는 득량만, 고흥, 여자만, 가막만, 광양 모두 대체적으로 100-400 cells ml⁻¹ 범위를 보이고 있다. 여

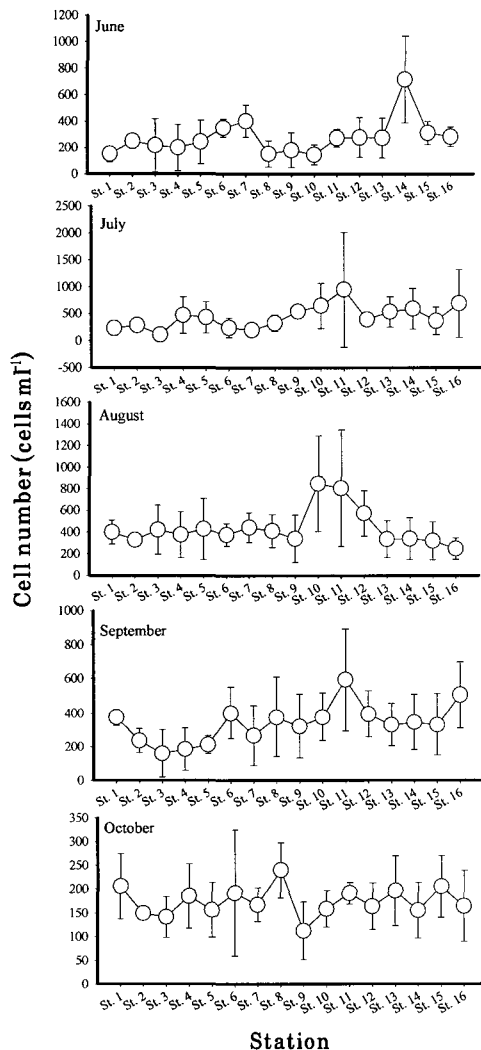


Fig. 3. Monthly variations of mean cell numbers of phytoplankton at sampling sites. Error bars represent mean ± S.D.

수연안의 정점 14에서 2-3배 정도 많은 600 cells ml⁻¹를 나타내고 있다. 7월경에는 6월보다 평균 100 cells ml⁻¹ 많은 500 cells ml⁻¹에 근접하는 세포수를 보였다. 가막만과 광양에서 6월에 비하여 많이 증가하는 경향을 나타내었다. 8월에는 7월과 거의 비슷한 세포수를 보였으나, 광양에서 다른 조사정점에 비하여 약 2배 정도 많은 800 cells ml⁻¹를 보였다. 9월과 10월은 6월, 7월, 8월에 비하여 각 조사정점에 따른 세포수의 변화가 다소 많게 보였다. 9월에는 대체적으로 200-600 cell m⁻¹ 범위의 반면에, 10월에는 100-250 cells ml⁻¹를 보이고 있다. Fig. 4는 규조류와 와편모조류의 상대 비율을 나타낸 것으로, 득량만의 경우 6월부터 8월까지 20% 이상 점유율을 보였고, 9월부터 10월까지도 20%에 근접하였다. 고흥은 조사기간 중 8월에 와편모조류 점유율이 20

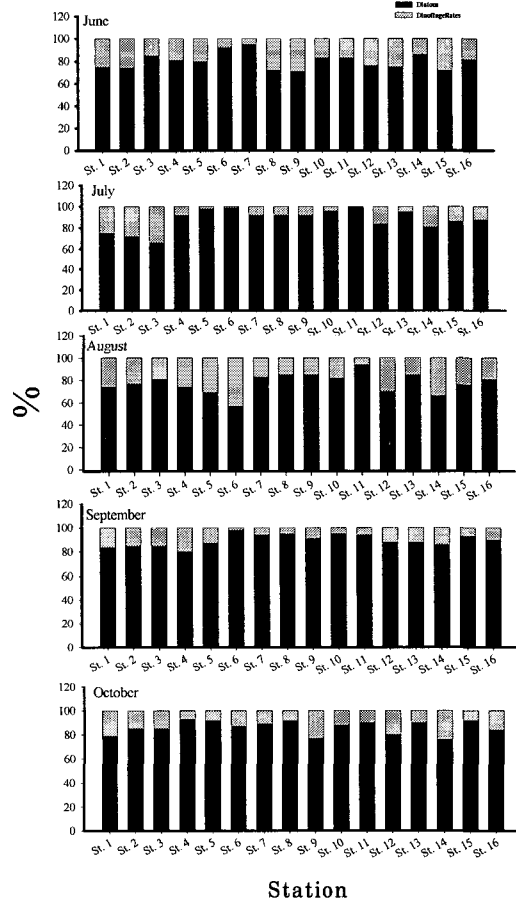


Fig. 4. Monthly variations of relative abundance in phytoplankton at sampling sites. Diatoms (black fine pattern) and dinoflagellates (gray fine pattern).

-30%을 보여, 가장 많이 출현되었다. 그 후 급격히 감소하여 10월에는 10% 미만의 출현율을 나타내었다. 여자만도 와편모조류의 점유율이 6월과 7월에 비해 8월에 거의 2-3배 정도 많은 출현되었으나, 9월부터 규조류가 대부분 나타났다. 가막만, 광양, 여수, 남해연안 모두 대부분 규조류가 60% 이상 우점하고 있으나, 8월에 와편모조류의 출현율이 가장 높게 보였다. Table 11은 우점종을 나타낸 것으로, 2004년도의 경우 7월, 8월, 9월 모두에서 *Skeletonema costatum* 빈도가 가장 많았고, 특히 9월의 광양에서 거의 100%를 나타내고 있다. 반면에, *Chaetoceros* 종도 6월과 10월에 많은 출현 빈도를 보였다. 2005년과 2006년은 2004년에 비하여 50% 이상의 우점종 출현이 상대적으로 적었다. 그러나 2004년처럼 *S. costatum*이 가장 많이 출현되었고, 2005년에는 6월부터 9월까지, 2006년에는 7월부터 10월까지 나타났다. 특히 우점종은 규조류를 나타냈으나, 2005년 남해에서 유일하게 규조류인 *Ceratium* 종이 69% 우점하는 것으로 보였다. Table 12는 각 정점별 식물플랑크톤 유사도를 나타낸 것으로, 대체적으로 30% 이하의 낮은 값을 보였으나, 6월과 10월의 경우 가막만과 여수 및 남해와는 10% 미만의 아주 낮은 유사도를 보였다. 그러나 여름철에는 정점에 관계없이 유사도의 비율이 고루 분포되게 나타났다. Fig. 5는 식물플랑크톤의 각 정점별로 집괴분석한 것으로, 8월과 9월에는 여수연안 중 정점 12는 다른 정점과는 유연관계가 다소 먼 것으로 나타난 반면에, 6월과 10월에는 광양이 독립적 유연관계를 보였다. 그러나

득량만, 고흥, 여자만, 가막만, 남해연안의 식물플랑크톤은 월별에 관계없이 상호 혼잡되어 분포되는 것으로 보인다.

4. 고 찰

6월에서 10월 동안 수온과 염분의 변화폭이 심한 월은 여름철 7월과 8월로 나타났다. 득량만, 여자만, 가막만, 광양만은 고흥연안, 여수연안, 남해연안에 비하여 수온이 높고, 염분도가 낮은 환경특성을 보이고 있다 (Tables 1,2). 그러나 9월이 되면 거의 비슷한 수질 양상을 나타내고 있다. 일반적으로 남해안의 만 (bay)들은 반폐쇄적인 작은 내만으로 이루어져, 육상으로부터 생활하수, 산업폐수 등과 같은 수질변동 요인에 많은 영향을 줄 수 있다^{29,30)}. 따라서 고흥연안, 여수연안, 남해연안에 비하여 상대적으로 외양수의 영향이 적고, 수심이 얇은 득량만, 여자만, 가막만, 광양만은 여름철에 큰 해양환경 변화를 볼 수 있다. 특히 여자만은 8월에 30℃에 육박하는 높은 수온은 매우 큰 특징으로 생각된다¹⁵⁾. 이는 수심이 상대적으로 낮아서 대기온도가 직접적으로 영향을 미쳤을 것으로 판단된다³¹⁾. 또한 7월과 8월에 여자만, 광양만, 여수연안의 염분도가 낮은 이유는 여자만 북부의 이사천, 벌교천, 동천에서 유입되는 담수와 섬진강 영향으로 광양만과 여수연안에 많은 영향을 주기 때문이다¹⁴⁾. 그러나 이러한 수질 변화는 9월부터 모든 조사해역에서 거의 비슷한 수질환경을 보여 주고 있다. 따라서 조사기간 중 여름철의 집중호우 및 일사량 증가는 남해안 연안의 해

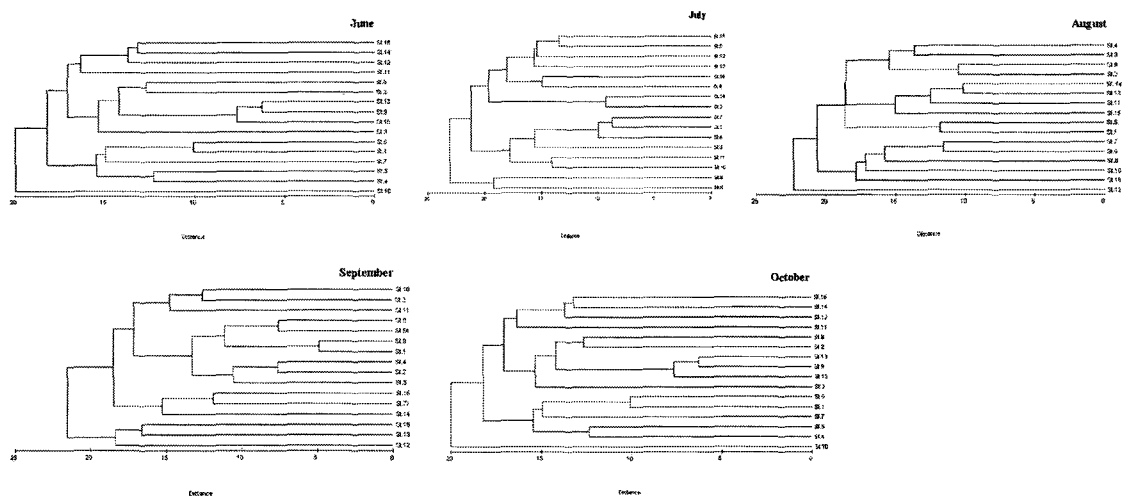


Fig. 5. Hierarchical cluster analysis of phytoplankton at sampling sites on June, July, August, September, October, and November, 2004-2006. The tree was generated from a distance matrix based on Euclidian method using MVSP ver. 3.1 program.

양환경에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

투명도는 수심과 부유물질 그리고 육지로부터 유기물의 유입과 밀접한 관련이 있다. 그러나 3년 동안의 조사결과 월별에 관계없이 대체적으로 거의 비슷한 투명도를 보여 (Table 4), 육지로부터 유기물 공급과는 큰 연관이 없는 것으로 보여진다. 또한 COD의 자료에서 보는 것처럼 (Table 7) 월별 큰 변화가 없는 것은 육지나 하천으로부터 유입되는 유기물질의 양은 조사점점의 해양환경에는 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 내다본다. 따라서 득량만, 고흥연안, 여자만, 가막만, 여수연안, 남해연안의 수질환경 변화는 육지로부터 유입되는 오염원보다 강우로 인한 담수 공급이 크게 기여하는 것으로 추측된다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이, 대부분 우점종은 규조류가 차지하고 있다. Eppley et al.³²⁾와 Sakshaug and Mykkestad³³⁾에 의하면 연안역에서 규산염의 농도가 제한요소로 작용되는 예는 드물다고 하였다. 만약 조사점점에서 규산염이 부족하면 규조류 대량 증식이 발생되지 않았을 것이다. 남해안은 리아스식 해안으로 되어 있어서, 퇴적물의 재부유 과정으로 충족되기 때문에 식물플랑크톤의 제한요소로는 작용되지 않을 것이다³⁴⁾. 또한 Solorzano and Strickland³⁵⁾에 따른 수중의 용존무기인의 농도가 $0.1 \mu\text{mol l}^{-1}$ 이하가 되어도 식물플랑크톤으로부터 생성되는 효소에 의해서 극복할 수 있다고 하였다. 본 연구에서 보면 용존무기인의 농도가 0.1 mg l^{-1} 이하로 존재하고 있지만 (Table 6), 식물플랑크톤 증식을 억제시킬 수 있는 제한요소로 보여지지 않는다. Solorzano and Strickland³⁵⁾가 주장한 농도보다 훨씬 낮은 농도에서도 식물플랑크톤 대번식이 일어났다. 아마도 이러한 원인은 식물플랑크톤 성장을 위해서 세포내에서 생성되는 효소작용에 의해서 수중에 용존하고 있는 미량의 무기인을 매우 효율적으로 이용하고 있는 것 같다. 그러나 Fig. 2를 보면 대체적으로 DIN/DIP 비율이 16 이하로 많이 나타나고 있어서, 식물플랑크톤의 성장 제한요소로 작용할 수 있음을 보여주고 있다. Table 3과 Table 5를 보더라도 용존무기질소량이 많으면 클로로필의 농도도 높아짐을 알 수 있듯이, 본 연구에서도 용존무기질소원은 식물플랑크톤 성장에 큰 영향을 미칠 수 있는 요인이다. 용존무기질소원의 공급은 육상 혹은 집중강우에 의한 것으로 알려져 있다. Table 5를 보면 여자만과 광양만은 강우에 의한 질소 영양염을 공급 받을 수 있지만 육상 혹은 하천수 유입도 큰 작용을 하는 것으로 보인다. 여름철에는 집중강우도 있지만 일조량 증가 및 가뭄현상으로 담수유입이 적을 수도 있지만, 광양만이 용존무기질소의

함량이 높은 원인은 육상으로 흘러오는 질소염의 공급을 받는 것으로 보여진다. 따라서 득량만, 고흥연안, 여자만, 가막만, 여수연안, 남해연안은 여름철 가뭄으로부터 담수유입의 결핍으로 식물플랑크톤의 성장에 큰 저해를 가져올 수 있다.

국립수산과학원의 자료에 따르면 (www.nfrdi.re.kr), 2004년부터 2006년까지 *Cochlodinium* 적조발생 지역을 본 연구의 조사점점과 비교해보면, 고흥, 가막만, 여수, 남해연안으로 나열 할 수 있다. 그러나 여자만, 광양만에 대한 *Cochlodinium* 적조는 거의 발생되지 않았다 (www.nfrdi.re.kr). 적조가 발생된 조사점점과 전혀 발생이 되지 않은 지역과의 뚜렷한 차이점은 용존무기질소로 볼 수 있다. 특히 *Cochlodinium* 적조가 발생하는 8월에서 9월 사이에는 비발생 해역에 비하여 상당히 높은 값을 보이고 있다 (Table 5). 이 점은 용존무기질소가 수중에 풍부하게 존재하고 있어도, *Cochlodinium* 적조생물보다 다른 식물플랑크톤의 성장을 위해서 훨씬 더 많이 이용하기 때문인 것 같다. 고흥, 가막만, 여수, 남해연안의 용존무기질소는 *Cochlodinium* 적조가 발생 전인 6-7월과 적조시기인 8-9월, 적조 후인 10월을 비교해 볼 때 거의 고르게 분포되고 있는 것이 큰 특징이다. 따라서 *Cochlodinium* 적조생물은 용존무기질소가 미량으로 존재하고 있어도 대규모 적조를 형성하는데 큰 문제가 되지 않을 것으로 내다본다. 이미 김³⁶⁾과 이³⁷⁾의 보고에 언급한 바와 같이 *Cochlodinium* 적조생물은 부영양성 종 (species) 중에서 낮은 값을 가질 수 있다는 실내 실험적 증명을 본 실험에서도 잘 뒷받침하고 있다. 비록 본 연구의 조사 횟수는 월 1회 이지만 3년 동안 축적된 자료로 볼 때 용존무기질소에 대하여 *Cochlodinium*의 성장반응에 민감하게 작용될 것이다. 따라서 *Cochlodinium* 적조생물은 영양염 공급원이 풍부한 내만에서는 오히려 성장저해를 가져올 수 있지만, 상대적으로 용존무기질소가 낮게 존재하여도 대규모 적조를 형성하는데 큰 장애가 되지 않을 것으로 보아 외양수에서도 충분히 발생될 수 생물과학적 증거이다. *Cochlodinium* 적조형성에 관여하는 여러 가설 중, 본 연구와 가장 밀접한 것은 외해역에서 발생되어 유입될 수 있다는 주장이다. 남해연안은 담수 유입의 영향으로 영양염들이 항상 충분히 존재하는 해역인 반면에³⁸⁻⁴⁰⁾, 외해역은 영양염이 부족하다. 특히 식물플랑크톤의 성장에 필수적인 용존무기질소는 강우에 의존하지 않는 이상 대부분 미량으로 존재하고 있다. 이러한 환경에도 불구하고, 적합한 대기 및 수질이 어울려지면 *Cochlodinium* 적조는 외해에서도 충분히 발생할 수 있다는 사실은 본 연구를 통해서도 가능하다. 최근, *Cochlodinium* 발생기

작을 알기 위하여 광조건 및 파장에 관한 실내실험을 통하여 이 종은 보상광량이 낮고 청색파장을 잘 이용하는 것으로 판명되어, 내만해역보다 외해역에서 광범위하게 발생할 수 있는 중요한 단서가 될 수 있다고 하였다⁴¹⁾. 따라서 본 연구의 현장결과와 최근의 광량과 파장연구를 통하여 *Cochlodinium*은 내만보다 외해역에서 발생되어, 용존무기질소가 풍부한 해역보다 소량으로 존재하여도 충분히 적조를 형성할 수 있고 지속적으로 유지할 수 있는 것 같다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이, 조사기간 동안 규조류가 대부분을 점유하고 있으나, 8월의 경우 와편모조류의 비율이 많이 증대된 것을 알 수 있듯이, *Cochlodinium* 적조도 규조류가 아닌 편모를 가진 식물플랑크톤으로 여름철 다른 와편모조류와의 경쟁에서 월등한 성장을 가져오기 위해서는 알지 못하는 물리적, 화학적, 생물학적 요인이 있지만, 아직까지 뚜렷한 원인을 밝혀내지 못하고 있다. 따라서 *Cochlodinium* 적조가 규조류뿐만 아니라 와편모조류와의 중간경쟁에 관한 연구는 *Cochlodinium* 적조를 새롭게 정립하는데 좋은 자료로 사용될 수 있다. 본 연구에서 뚜렷이 나타난 바와 같이, 규조류 중에서 *Skeletonema costatum*이 *Cochlodinium* 적조 전후로 가장 많이 출현한 종이다 (Table 11). 여러 보고자에 의하면 *S. costatum*은 식물플랑크톤 증식에 영향을 미칠 수 있다고 하였다^{42,43)}. 예를 들면, *S. costatum* 분비액은 *Prorocentrum minimum* 성장을 촉진시키는 반면에⁴⁴⁾, *Scrippsiella trochoidea*에게는 성장저해를 가져온다고 밝혔다⁴⁵⁾. 아직까지 *S. costatum*과 *Cochlodinium* 적조와의 관련성에 관한 연구보고는 없지만, 앞으로 남해안 여름철에 우점종으로 출현되는 *S. costatum*에 관한 연구는 매우 흥미롭게 진행될 것으로 보여진다.

5. 요약

이 연구는 남해안 중부해역의 여름철 전·후 단계를 나누어서 6월부터 10월까지의 2004-2006년 장기간 해양환경 모니터링 및 식물플랑크톤 군집구조를 파악함과 아울러, *Cochlodinium* 적조발생에 관한 해석에 이용되고자 하는 것이다. 조사해역은 득량만, 고흥연안, 여자만, 가막만, 광양만, 여수연안, 남해연안으로 총 16개 정점이다. 수온은 19-29°C 범위로 여름철 여자만에서 두 정점 모두 가장 높은 29°C, 27°C를 나타내었다. 그러나 8월을 제외한 6월, 7월, 9월, 10월에는 조사정점에 관계없이 큰 차이를 보여주지 못했다. 염분도는 7월과 8월에 여자만과 광양만에서 다른 조사해역에 비하여 약 5-6 정도 낮은 25-27를 나타내었다. 클로로필의 경우도 7월과 8월

에 각 조사해역별 큰 차이를 보이고 있다. 특히 광양만은 최고 5배 정도 많은 15 µg l⁻¹까지 보였다. 투명도는 수온, 염분도, 클로로필과 다르게 조사기간 동안 해역에 관계없이 거의 비슷한 수준인 2-5 m 정도로 보여주고 있다. 용존무기질소도 조사해역 중 광양만의 경우 7월과 8월에 가장 높은 0.53 mg l⁻¹까지 보여 10배 정도까지 차이를 보였으나, 용존무기질소는 상대적으로 큰 차이를 나타내지 못하고 있다. 용존무기질소와 클로로필의 관계를 보면 7월에는 음의 상관성을 보여 클로로필의 증가에 따른 용존무기질소가 급속히 소모됨을 알 수 있지만, 8월에는 거의 오히려 양의 상관성을 보여주고 있다. 식물플랑크톤의 평균 세포수는 7월과 8월에 500 cells ml⁻¹까지 나타내었고, 대부분 규조류의 비율이 60% 이상 출현되었으나, 8월에 와편모조류의 점유율이 20-30%까지 보였다. 우점종으로는 *Skeletonema costatum*이 2004년부터 2006년까지 전 해역에 걸쳐 가장 많이 출현되었다. 각 해역별로 출현하는 식물플랑크톤의 집괴분석에 따르면 상호 혼잡되어 분포되는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 보면 여름철에 가장 큰 해양환경 변화를 보였고, 식물플랑크톤 중 *S. costatum*은 남해연안의 대표적인 기초생산종으로 간주된다. 특히 여름철 *Cochlodinium* 적조는 득량, 가막, 고흥, 여수, 남해해역에서 3년 동안 계속해서 발생된 반면, 여자만과 광양만은 전혀 나타나지 않았다. 뚜렷한 차이점은 용존무기질소로 *Cochlodinium* 적조 형성을 위한 요구량은 수중에 풍부하게 존재하고 있기 보다는, 미량이라도 충분히 적조를 유지시키고, 외해역에서도 발생할 수 있다는 뒷받침을 하고 있다.

감사의 글

이 연구는 국립수산과학원 (남해해양환경연구, RP-07-ME-008)의 지원에 의해 운영되었습니다.

참고 문헌

- 1) 윤양호, 2003, 한국 남서해역의 식물플랑크톤 군집 출현 및 분포 특성, 여수대학교 수산과학연구소 논문집, 12, 1-17.
- 2) 윤양호, 1998, 완도 신지연안해역 식물플랑크톤 군집구조 특성, 여수대 논문집, 12, 651-664.
- 3) 윤양호, 2001, 저수온기 목포연안해역의 해양환경학적 특성 1. 수질환경과 기초생산에 영향을 미치는 환경요인 해석, 한국물환경학회지, 17, 1-13.
- 4) Lee J. C., Kim J. Y., Chang S. D., 1984, Thermohaline structure of the shelf front in the Korea strait in early winter. J. Oceanol. Soc. Korea, 19, 39-46.

- 5) 김동수, 이길수, 김용주, 1995, 여수연안의 기상요인이 정치망 어장의 해황에 미치는 영향. 여수대학교 수산과학연구소 연구보고, 4, 31-39.
- 6) 김대일, 윤양호, 1997, 식물플랑크톤 군집구조로 본 초겨울 한국 남서해역의 해양환경 특성, 여수대학교 수산과학연구소 연구보고, 6, 1-11.
- 7) 윤양호, 1998, 가막만 남부 화태연안의 식물플랑크톤 군집구조 특성, 여수대학교 수산과학연구소 연구보고, 7, 129-144.
- 8) 윤양호, 1999, 득량만 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포특성, 한국환경생물학회지, 17, 481-492.
- 9) 윤양호, 2000, 가막만 북서부해역 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포 특성, 여수대학교 수산과학연구소 연구보고, 7, 129-144.
- 10) 윤양호, 2000, 해창만의 생물해양학적 환경특성 1, 식물플랑크톤 군집구조와 계절변동, 한국수산학회지, 33, 43-50.
- 11) 윤양호, 박종식, 2000, 주성분분석에 의한 거금수도의 해양환경과 식물플랑크톤 변동 요인해석, 한국환경과학회지, 9, 1-11.
- 12) Shim J. H., 1990, Biological oceanography of the Gamagyang Bay-the Yeoja Bay water system (I), J. Oceanol. Soc. Korea, 15, 89-99.
- 13) 김미경, 박정원, 2004, 백야도 연안의 동계 해양환경 특성에 따른 식물플랑크톤의 종조성과 군집분석, Algae, 19, 247-255.
- 14) 이영식, 유준, 권기영, 최용규, 조은섭, 2004, 광양만에서 식물플랑크톤증식 제한영양염이 시·공간적 변동 특성, 대한환경공학회지, 26, 890-895.
- 15) 이진환, 윤수미, 2000, 여자만의 수질과 식물플랑크톤군집, Algae, 15, 89-98.
- 16) 조은섭, 김정배, 안경호, 유준, 권정노, 정창수, 2006, 2004년 한국 남해연안 해역에 출현하는 식물플랑크톤의 시·공간적 특성 조사, 한국환경과학회지, 15, 539-562.
- 17) 김학균, 최우정, 정영균, 정창수, 박종수, 안경호, 백철인, 1999, 나로도 인근해역에서 *Cochlodinium polykrikoides* 적조의 최초발생과 환경특성, 수진연구보고, 57, 119-129.
- 18) 양재삼, 최현용, 정해진, 정주영, 박종규, 2000, 전남 고흥 해역의 유해성 적조의 발생 연구: 1. 물리·화학적 특성, 바다, 5, 16-26.
- 19) 최용규, 조은섭, 권기영, 이용화, 이영식, 2005, 2004년 7월 북돌바다의 영양염과 Chlorophyll-a의 단기변동, 14, 397-404.
- 20) 최용규, 조은섭, 이용화, 이영식, 2005, 2004년 7월 북돌바다의 썬물, 전류 및 밀물시 수온과 염분 분포, 한국환경과학회지, 14, 167-175.
- 21) 최현용, 2001, 한국 남해 나로도 와 소리도 사이 해역의 1998년 하계 해황 및 적조소멸과의 관계, 바다, 6, 49-62.
- 22) Kang Y. S., Kim H. G., Lim W. A., Lee C. K., Lee S. G., Kim S. Y., 2002, An unusual coastal environment and *Cochlodinium polykrikoides* blooms in 1995 in the South Sea of Korea. J. Kor. Soc. Oceanogr., 37, 212-223.
- 23) 정해진, 박종규, 최현용, 양재삼, 심재형, 신윤근, 이원호, 김형섭, 조경제, 2000, 전남 고흥 해역의 유해성 적조의 발생연구 2, 1997년도 식물플랑크톤의 시공간적 변화, 바다, 5, 27-36.
- 24) 임월애, 정창수, 이창규, 조용철, 이삼근, 김학균, 정익교, 2002, 2000년 여름 남해안에 나타난 *Cochlodinium polykrikoides* 우점적조의 발생 특성, 바다, 7, 68-77.
- 25) Lee Y. S., Lee S. Y., 2006, Factors affecting outbreaks of *Cochlodinium polykrikoides* blooms in coastal areas of Korea, Mar. Poll. Bull., 52, 626-634.
- 26) Lee Y. S., 2006, Factors affecting outbreaks of high-density *Cochlodinium polykrikoides* red tides in the coastal seawaters around Yeosu and Tongyeong, Korea, Mar. Poll. Bull., 52, 1249-1259.
- 27) 정창수, 최우정, 김학균, 정영균, 김정배, 임월애, 1999, 1998년도 남해도 인근수역의 *Cochlodinium polykrikoides* 적조발생과 동물플랑크톤의 분포 특성, 수진연구보고, 57, 153-161.
- 28) 해양수산부, 2002, 해양환경공정시험방법, 해양수산부, 330pp.
- 29) 윤양호, 2000, 가막만 북부해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 변동특성 2. 수질환경과 염류소 a량의 변동특성, 한국환경과학회지, 9, 429-436.
- 30) 김동명, 2005, 가막만의 COD 거동 및 분포 특성 평가를 위한 생태계 모델링, 한국환경 과학회지, 14, 835-842.
- 31) Lehman P. W., 2000, The influence of climate on phytoplankton community biomass in San Francisco Bay Estuary. Limnol. Oceanogr., 45, 580-590.
- 32) Eppley R. W., Renger E. H., Venrick E. L., Mullin M. M., 1973, A study of plankton dynamics and nutrient cycling in the central gyre

- of the north Pacific Ocean, *Limnol. Oceanogr.*, 18, 534-551.
- 33) Sakshaug E., Mykkestad S., 1973, Studies on the phytoplankton ecology of the environmental factors, bioassay experiments and parameters for the physiological state of the populations, *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, 11, 157-188.
- 34) Lévassieur M., Therriault J. C., 1987, Phytoplankton biomass and nutrient dynamics in a tidally induced upwelling: the role of the $\text{NO}_3:\text{SiO}_4$ ratio, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 39, 87-97.
- 35) Solorzano L., Strickland J. D. H., 1968, Polyphosphate in sea water, *Limnol. Oceanogr.*, 13, 515-518.
- 36) 김형철, 이창규, 이삼근, 김학균, 박청길, 2001, *Cochlodinium polykrikoides*의 성장에 미치는 물리 화학적 요인과 영양염 이용, *한국수산학회지*, 34, 445-456.
- 37) 이창규, 김형철, 이삼근, 정창수, 김학균, 임월애, 2001, *Cochlodinium polykrikoides*, *Gymnodinium impudicum*, *Gymnodinium catenatum*의 출현 상황과 온도, 염분, 조도 및 영양염류에 따른 성장 특성, *한국수산학회지*, 34, 536-544.
- 38) 이동섭, 1999, 여름과 겨울철 남해의 영양염 분포 특성, *바다*, 4, 371-382.
- 39) Kang C. H., Kim P. J., Lee W. C., Lee P. Y., 1999, Nutrients and phytoplankton blooms in the southern coastal waters of Korea: I. The elemental composition of C, N, and P in particulate matter in the coastal bay systems. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 34, 86-94.
- 40) 임동일, 엄인권, 전수경, 유재명, 정희수, 2003, 한국 남해 연안역에서 여름 홍수지에 형성된 연안 염하구 환경의 물리 화학적 특성, *바다*, 8, 151-163.
- 41) 오석진, 윤양호, 김대일, Shimasaki Y., Oshima Y., Honjo T., 2006, 유해성 적조생물, *Cochlodinium polykrikoides* Margalef (Dinophyceae) 성장에 영향을 미치는 광량과 파장, *Algae*, 21, 311-316.
- 42) Imada N., Kobayashi K., Tahara K., Oshima Y., 1991, Production of an autoinhibitor by *Skeletonema costatum* and its effect on the growth of other phytoplankton, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 2285-2290.
- 43) Imada N., Kobayashi K., Isomura K., Saito H., Kimura S., Tahara K., Oshima Y., 1992, Isolation and identification of an autoinhibitor produced by *Skeletonema costatum*, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58, 1687-1692.
- 44) Kondo K., Seike Y., Date Y., 1990, Red tides in brackish lake Nakanoumi (II): Relationships between the occurrence of *Prorocentrum minimum* red tide and environmental conditions. *Bull. Plank. Soc. Japan*, 37, 19-34.
- 45) Lim W. A., Kim H. G., Lee W. J., Lee S. S., 1993, Composition of fatty acid and the effect of environmental factors on the population growth of *Scrippsiella trochoidea* a dinoflagellate responsible for a red tide. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 26, 198-203.