

## 2007-2009년 남해안 적조발생 및 적조 미발생에 관한 비교 연구

조은섭\*

\* 남해수산연구소, 국립수산물과학원

### A Comparative Study on Outbreak and Non-outbreak of *Cochlodinium Polykrikoides* Margalef in South Sea of Korea in 2007-2009

Eun-Seob Cho\*

\*, South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea

**요 약** : *Cochlodinium polykrikoides* 적조는 매년 여름철에 남해안을 중심으로 발생하였으나, 2009년에는 적조가 전혀 발생되지 않았다. 본 연구는 남해안 여수부터 완도해역을 대상으로 조사정점 13개를 정하여 2007년부터 2009년까지 여름철 수질환경 및 식물플랑크톤 군집 동태를 적조가 발생된 연도(2007년과 2008년)와 적조가 발생되지 않은 연도(2009년) 자료를 상호 비교하였다. 2009년 6월부터 남해안 집중강우로 인하여 7월의 평균수온이 20°C 이하의 저수온과 8월에 염분이 31psu 이하의 저염분, pH가 8월에 8.4 정도를 보여 적조발생 년도에 비하여 해양환경의 큰 변화를 가져왔다. 또한 DIN 농도는 적조발생 년도에 비하여 약 2배 이상 높은 값을 보였고, N:P 및 Si:N 비율에서도 적조가 발생된 년도에 비하여 Redfield ratio가 16 이상을 나타내어 완전히 정반대의 양상을 보였다. 조사기간 동안의 대부분의 우점종으로는 *Chaetoceros* spp., *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* spp.와 같은 규조류가 대부분 출현되었고, 와편모조류로는 *Ceratium* spp. 등으로 나타났다. 특히 2009년 8월경에는 *C. polykrikoides* 대신에 *Gonyaulax polygramma* 종으로 적조를 형성하기도 하였다. 따라서 2009년 6월부터 집중강우 및 일조량 부족으로 인한 *C. polykrikoides* 대수증식기 시점에 수온, 염분 등과 같은 해양환경의 급격한 변화로 인하여 적조형성이 지연됨과 아울러 *G. polygramma*와 *Chaetoceros* 등과 같은 규조류의 세력에 밀려 2009년에는 *C. polykrikoides* 적조가 발생하지 않은 것으로 판단된다.

**핵심어** : 해양환경, 레드필드비, N:P 비율, 적조, 집중강우, 수온, 염분

**Abstract** : Harmful dinoflagellate, *Cochlodinium polykrikoides*, has always occurred in southern coastal waters every year during summer, but it did not occur in 2009. A comparative study on outbreak in 2007/2008 and non-outbreak of *C. polykrikoides* in 2009 was performed based on environmental parameters and phytoplankton appearances. Samples were obtained at 13 stations from Yeosu to Wando waters in 2007-2009. The heavy rainfall was associated with the decrease of surface water temperature below 20°C in July, the decrease of salinity below 31psu in August and increase of pH to 8.4 in August, 2009. The concentration of DIN in 2009 was approximately two times as high as those of 2007 and 2008, and the ratios of N:P and Si:N in 2009 showed Redfield ratio to be above the value of 16. This indicates that Redfield ratios were significantly different between 2007/2008 and 2009. Dominant species during the field survey were shown to be *Chaetoceros* spp., *Skeletonema costatum* and *Thalassiosira* spp. in diatoms and to be *Ceratium* spp. in dinoflagellate. In particular, *Gonyaulax polygramma* occurred in August, 2009 instead of *C. polykrikoides*. Consequently, the massive rainfall and shortage of sunshine contributed to considerable variation in environmental parameters which were associated with delay in the timing of rapid growth phase of *C. polykrikoides*.

**Key Words** : Marine environments, Redfield ratio, N:P ratio, Red tide, Heavy rain, Water temperature, Salinity

### 1. 서론

남해안은 비교적 큰 조석 차와 잘 발달된 리아스식 해안 특성을 보여, 수많은 도서 및 폭선형 해안선에 의한 반폐쇄적

특성을 보이는 내만 해역이 발달되어 있어서 오래전부터 어패류의 산란장 및 생육장으로 중요한 역할을 하고 있다(윤, 2003). 특히 여름철은 남해안에서 서식하고 수산생물이 가장 활발하게 성장되고 있는 기간이지만, *C. polykrikoides* 적조로 인하여 양식어류가 대량으로 폐사하고 있다(국립수산물과학원, 2008). *C. polykrikoides*는 와편모조류에 속하며, 적합한 환경

\* 대표저자 : 정희원, escho@nfrdi.go.kr, 061-690-8959

조건 하에서는 단세포에서 여러 세포가 연결되어 긴 체인을 형성하고 있는 것이 특징이다(김 등, 1993). *C. polykrikoides*가 대규모로 증식되면 세포에서 점성 물질의 분비로 바닷물의 점성이 높아지고 물고기의 아가미 호흡을 막아 질식사를 유발시킨다(Kim et al., 2000). *C. polykrikoides* 적조로 인한 어류 대량폐사는 우리나라뿐만 아니라 일본에서도 상당한 피해를 가져온다고 한다(Kim, 2003). 최근 필리핀, 말레이시아 등과 같은 동남아시아(Azanza et al., 2008) 및 북미(Tang and Globler, 2009)에서 *C. polykrikoides* 적조가 발생되었다고 보고하고 있다. 따라서 *C. polykrikoides* 적조는 우리나라만의 문제가 아니라 세계적인 큰 이슈로 부상하고 있다.

*C. polykrikoides* 적조 역사는 1982년 진해만에서 처음 보고된 이래 1995년 이후 매년 남해안을 중심으로 발생하고 있다(김 등, 1999). *C. polykrikoides*의 발생특성(김 등, 1999), 피해기작(Kim et al., 1999), 혼합영양(Jeong et al., 2004) 등에 관한 폭넓은 연구가 수행되어 왔다. 최근 분자생물학의 발달로 인하여 *C. polykrikoides* 적조생물을 신속하게 탐색할 수 있는 새로운 기법을 제시한 바 있다(Park and Park, 2010).

2007년 7월 31일 전남 여수시 가막만 하단에서 최초로 *C. polykrikoides* 적조가 발생되어 58일 동안 완도에서 울진까지 확산되었다(국립수산과학원, 2008). 2008년도 2007년과 비슷한 시기에 *C. polykrikoides*가 최초 출현하여 2007년에 비해 10일 정도 더 지속되었다(국립수산과학원, 2009). 그러나 2009년은 *C. polykrikoides* 적조가 거의 발생되지 않은 관계로 본 연구에서는 적조가 발생된 2007년 및 2008년과 적조가 발생되지 않은 2009년의 해양환경 및 식물플랑크톤 종 조성 등을 비교 분석하여 논의하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

조사 정점은 북돌바다를 중심으로 5개 정점, 외나라도 남단으로 3개 정점, 고흥반도 2개 정점 및 완도를 중심으로 한 남해서부해역에는 3개 정점으로 총 13개 정점을 선정하였다(Fig. 1). 조사 시기는 6월 말부터 2주 간격으로 적조 소멸시 까지 조사하였다. 2007년의 경우 6월 19일부터 10월 1일까지 실시했고, 2008년은 6월 24일부터 9월 23일까지 조사했다. 적조가 발생되지 않은 2009년의 경우 6월 24일부터 9월 29일까지 적조 조사를 실시했다. 수온과 염분은 CTD(Sea Bird 19)을 이용하여 측정하였다. 용존산소 및 pH는 YSI 6920을 이용하여 측정하였다. 영양염은 Niskin 채수기를 이용하여 현장에서 채수한 후 GF/F Filter로 여과하여 냉동관하였다. Chl-*a*는 해수시료를 0.45µm Membrane filter로 여과하여 90% Acetone으로 추출한 후 Spectrophotometer(Perkin Elmer, LS50B)로 비색 정량하였다. 암모니아질소(NH<sub>3</sub>-N), 질산질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N), 아질산질소(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-NO), 인산인(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P), 규산규소(SiO<sub>2</sub>) 분석은 해양환경공정시험법에 따라 하였다(해양수산부, 2002). 투명도는 직경 30 cm의 투명도판을 이용하여 현장에서 육안으로 측

정하였다. 식물플랑크톤의 종 조성 및 개체 수를 관찰하기 위하여 해수 1L를 채수하여 Lugol's solution으로 고정된 후 실험실로 운반하여 3일 이상 침강시킨 후 상등액을 제거하여 5mL로 농축시켰다. 농축 시료는 Sedgwick-Rafter에 분산시킨 뒤 광학현미경 (Olympus, BX50)하에서 검정하였다.

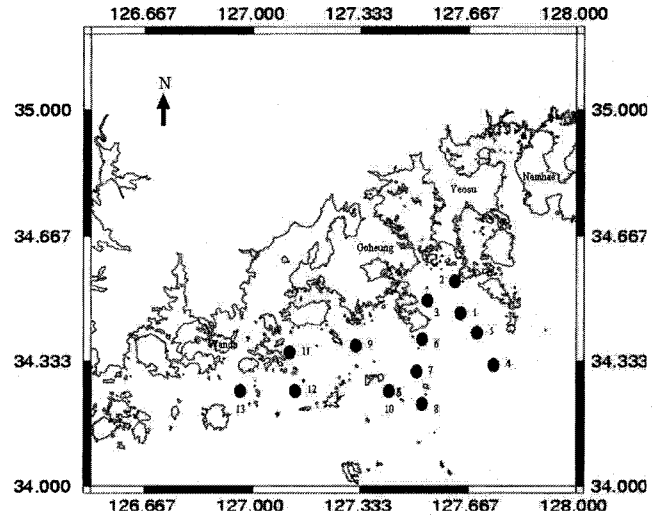


Fig. 1. Map showing the study area and sampling location.

## 3. 결과

### 3.1 해양환경

Table 1은 2007년부터 2009년까지 *C. polykrikoides* 적조가 발생하는 7월, 8월, 9월에 대한 각 정점별 수온, 염분, pH, 용존산소, DIN, DIP, Silicate, Chl-*a* 및 투명도를 나타낸 것이다. 적조가 발생되지 않은 2009년의 표층수온은 7월에서 평균 20.76°C로 적조가 발생된 2007년과 2008년에 비해 약 4°C 정도 낮은 수온을 보였다. 그러나 2009년 8월부터 9월까지는 적조가 발생된 년도와 거의 비슷한 수온을 보이고 있다. 이러한 2009년 7월의 낮은 수온은 정점 7부터 13까지 20°C 이하의 저수온을 보였다. 또한 염분도 2009년 8월의 경우 전 정점에서 31 이하를 보여 적조가 발생된 년도와 비교 시 다소 많은 차이를 나타내었다. 적조가 발생된 7월의 pH는 2009년보다 높은 수치를 보였으나, 8월에 8.42, 9월에 8.25로 적조가 발생된 년도보다 훨씬 높은 값을 나타내었다. 정점별로는 큰 차이가 없으나, 적조가 발생된 년도와 발생되지 않은 년도를 비교하면 수온, 염분, pH에서 많은 차이를 볼 수 있는 것이 큰 특징이다. 그러나 용존산소는 수온, 염분, pH처럼 적조발생 유무에 따라 큰 차이를 나타내고 있지 못하다. DIN은 모든 정점에서 적조가 발생된 년도와 발생되지 않은 년도와의 차이가 7월, 8월, 9월 3개월 동안 약 2배 이상 높은 농도가 2009년에 보여 적조발생 년도와는 현저한 차이를 보여주고 있다. 수온과 염분은 특정 월에 2009년과 2008년 및 2007년과의 비교 차이가 보인 반면에, DIN은 조사 기간동안 2009년 남해안에서 지속적

2007-2009년 남해안 적조발생 및 적조 미발생에 관한 비교 연구

Table 1. The monthly variations of surface water factors (average  $\pm$  S.D.) from July to September in 2007-2009

Station	Factor	July		August		September	
		2009	2008+2007	2009	2008+2007	2009	2008+2007
St. 1	T.	20.76 $\pm$ 0.51	23.29 $\pm$ 1.27	24.94 $\pm$ 0.94	25.03 $\pm$ 0.18	24.04 $\pm$ 0.39	24.71 $\pm$ 1.19
	S.	32.91 $\pm$ 0.42	32.96 $\pm$ 0.31	30.52 $\pm$ 0.21	32.73 $\pm$ 0.42	31.54 $\pm$ 11.8	32.62 $\pm$ 1.55
	pH	7.99 $\pm$ 0.11	8.11 $\pm$ 0.09	8.42 $\pm$ 0.04	8.03 $\pm$ 0.12	8.28 $\pm$ 0.04	8.13 $\pm$ 0.05
	DO	8.92 $\pm$ 20.3	8.71 $\pm$ 0.61	7.55 $\pm$ 0.84	8.03 $\pm$ 0.50	8.24 $\pm$ 0.07	6.75 $\pm$ 1.63
	DIN	0.12 $\pm$ 0.02	0.04 $\pm$ 0.01	0.12 $\pm$ 0.03	0.06 $\pm$ 0.04	0.09 $\pm$ 0.00	0.05 $\pm$ 0.04
	DIP	0.01 $\pm$ 0.01	0.03 $\pm$ 0.01	0.00 $\pm$ 0.00	0.03 $\pm$ 0.01	0.00 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.02
	Sil.	0.25 $\pm$ 0.11	0.32 $\pm$ 0.15	0.28 $\pm$ 0.09	0.31 $\pm$ 0.14	0.25 $\pm$ 0.30	0.22 $\pm$ 0.14
	C.	1.26 $\pm$ 1.36	12.44 $\pm$ 0.50	1.36 $\pm$ 0.21	32.52 $\pm$ 1.92	1.66 $\pm$ 0.69	2.49 $\pm$ 1.95
	Tr.	3.14 $\pm$ 1.03	4.12 $\pm$ 0.47	5.05 $\pm$ 2.82	4.62 $\pm$ 2.30	3.63 $\pm$ 0.28	5.46 $\pm$ 2.18
St. 2	T.	19.62 $\pm$ 1.32	22.79 $\pm$ 2.19	24.47 $\pm$ 0.07	24.32 $\pm$ 0.70	23.75 $\pm$ 0.51	23.91 $\pm$ 1.10
	S.	32.93 $\pm$ 0.53	33.15 $\pm$ 0.34	30.83 $\pm$ 0.33	32.85 $\pm$ 0.35	31.59 $\pm$ 11.8	32.84 $\pm$ 1.24
	pH	7.99 $\pm$ 0.06	8.03 $\pm$ 0.06	8.35 $\pm$ 0.02	8.09 $\pm$ 0.06	8.24 $\pm$ 0.01	8.07 $\pm$ 0.02
	DO	9.62 $\pm$ 2.48	8.25 $\pm$ 0.23	8.05 $\pm$ 0.12	7.96 $\pm$ 0.71	7.41 $\pm$ 0.16	6.85 $\pm$ 1.73
	DIN	0.15 $\pm$ 0.05	0.07 $\pm$ 0.03	0.12 $\pm$ 0.03	0.06 $\pm$ 0.02	0.15 $\pm$ 0.05	0.06 $\pm$ 0.03
	DIP	0.01 $\pm$ 0.00	0.03 $\pm$ 0.02	0.00 $\pm$ 0.00	0.04 $\pm$ 0.02	0.00 $\pm$ 0.00	0.03 $\pm$ 0.01
	Sil.	0.35 $\pm$ 0.02	0.24 $\pm$ 0.08	0.38 $\pm$ 0.06	0.35 $\pm$ 0.13	0.26 $\pm$ 0.10	0.27 $\pm$ 0.10
	C.	2.83 $\pm$ 2.80	14.82 $\pm$ 0.66	1.65 $\pm$ 0.26	54.92 $\pm$ 5.23	1.96 $\pm$ 1.13	2.55 $\pm$ 1.13
	Tr.	1.92 $\pm$ 0.56	4.15 $\pm$ 0.25	3.23 $\pm$ 2.47	3.66 $\pm$ 1.15	3.14 $\pm$ 1.15	2.65 $\pm$ 1.71
St. 3	T.	20.66 $\pm$ 0.34	24.15 $\pm$ 1.27	24.82 $\pm$ 1.13	24.62 $\pm$ 0.18	24.08 $\pm$ 0.55	24.93 $\pm$ 1.37
	S.	32.72 $\pm$ 0.55	32.64 $\pm$ 0.37	30.92 $\pm$ 0.43	32.61 $\pm$ 0.37	31.55 $\pm$ 11.7	32.58 $\pm$ 1.76
	pH.	8.09 $\pm$ 0.10	8.12 $\pm$ 0.07	8.43 $\pm$ 0.03	8.04 $\pm$ 0.04	8.25 $\pm$ 0.04	8.11 $\pm$ 0.05
	DO	7.82 $\pm$ 1.31	9.03 $\pm$ 0.91	8.05 $\pm$ 0.08	8.03 $\pm$ 0.41	7.82 $\pm$ 0.05	6.89 $\pm$ 1.67
	DIN	0.10 $\pm$ 0.04	0.04 $\pm$ 0.02	0.12 $\pm$ 0.04	0.05 $\pm$ 0.07	0.11 $\pm$ 0.21	0.07 $\pm$ 0.07
	DIP	0.01 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.02	0.00 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.03
	Sil.	0.35 $\pm$ 0.09	0.46 $\pm$ 0.17	0.36 $\pm$ 0.07	0.33 $\pm$ 0.22	0.26 $\pm$ 0.20	0.29 $\pm$ 0.22
	C.	3.75 $\pm$ 3.80	17.16 $\pm$ 0.76	3.12 $\pm$ 0.92	47.41 $\pm$ 1.95	2.76 $\pm$ 1.00	2.35 $\pm$ 0.81
	Tr.	1.95 $\pm$ 1.05	3.43 $\pm$ 0.66	2.55 $\pm$ 0.70	2.68 $\pm$ 1.15	2.54 $\pm$ 0.86	3.02 $\pm$ 0.61
St. 4	T.	20.37 $\pm$ 1.09	23.83 $\pm$ 2.01	25.15 $\pm$ 1.44	24.53 $\pm$ 0.43	24.17 $\pm$ 0.54	25.05 $\pm$ 1.37
	S.	33.02 $\pm$ 0.13	33.03 $\pm$ 0.58	31.07 $\pm$ 0.79	32.65 $\pm$ 0.48	31.91 $\pm$ 11.9	32.65 $\pm$ 0.97
	pH.	8.02 $\pm$ 0.07	8.02 $\pm$ 0.08	8.45 $\pm$ 0.09	8.32 $\pm$ 0.26	8.24 $\pm$ 0.07	8.12 $\pm$ 0.09
	DO	9.42 $\pm$ 2.36	8.42 $\pm$ 0.62	7.45 $\pm$ 0.31	7.66 $\pm$ 0.85	8.22 $\pm$ 0.08	6.55 $\pm$ 1.22
	DIN	0.08 $\pm$ 0.03	0.07 $\pm$ 0.03	0.10 $\pm$ 0.02	0.02 $\pm$ 0.01	0.08 $\pm$ 0.02	0.01 $\pm$ 0.00
	DIP	0.01 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.02	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
	Sil.	0.15 $\pm$ 0.08	0.26 $\pm$ 0.11	0.22 $\pm$ 0.00	0.25 $\pm$ 0.20	0.11 $\pm$ 0.14	0.13 $\pm$ 0.03
	C.	1.32 $\pm$ 0.79	4.25 $\pm$ 0.37	1.05 $\pm$ 0.63	13.21 $\pm$ 0.44	1.38 $\pm$ 0.62	1.35 $\pm$ 1.77
	Tr.	6.43 $\pm$ 4.12	6.00 $\pm$ 2.27	7.23 $\pm$ 3.18	5.32 $\pm$ 1.52	8.14 $\pm$ 0.28	9.92 $\pm$ 5.67
St.5	T.	20.72 $\pm$ 0.18	24.03 $\pm$ 2.27	25.65 $\pm$ 0.75	24.24 $\pm$ 1.23	24.07 $\pm$ 0.26	24.73 $\pm$ 1.29
	S.	32.95 $\pm$ 0.38	33.15 $\pm$ 0.36	31.32 $\pm$ 0.12	32.54 $\pm$ 0.69	31.82 $\pm$ 11.9	32.52 $\pm$ 1.07
	pH.	8.01 $\pm$ 0.08	8.11 $\pm$ 0.08	8.45 $\pm$ 0.01	8.12 $\pm$ 0.08	8.23 $\pm$ 0.06	8.17 $\pm$ 0.10
	DO	9.19 $\pm$ 2.09	8.67 $\pm$ 0.40	7.42 $\pm$ 0.36	7.73 $\pm$ 0.76	8.12 $\pm$ 0.10	6.42 $\pm$ 0.94
	DIN	0.08 $\pm$ 0.04	0.04 $\pm$ 0.01	0.16 $\pm$ 0.10	0.01 $\pm$ 0.01	0.10 $\pm$ 0.03	0.00 $\pm$ 0.00
	DIP	0.01 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.03	0.00 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
	Sil.	0.12 $\pm$ 0.05	0.25 $\pm$ 0.08	0.25 $\pm$ 0.03	0.23 $\pm$ 0.20	0.15 $\pm$ 0.07	0.09 $\pm$ 0.04
	C.	3.36 $\pm$ 2.47	4.12 $\pm$ 0.34	1.55 $\pm$ 1.31	12.85 $\pm$ 0.77	1.33 $\pm$ 0.65	1.34 $\pm$ 0.72
	Tr.	4.56 $\pm$ 1.80	6.03 $\pm$ 2.44	7.75 $\pm$ 2.47	8.18 $\pm$ 4.41	7.19 $\pm$ 2.36	10.93 $\pm$ 4.70

T., temperature ( $^{\circ}$ C); S., salinity; DO, dissolved oxygen (mg/L); DIN, dissolved inorganic nitrogen (mg/L); DIP, dissolved inorganic phosphorus (mg/L); Sil, silicate (mg/L); C., chlorophyll a ( $\mu$ g/L); Tr. transparency (m).

조은섭

Table 1. The monthly variations of surface water factors (average  $\pm$  S.D.) from July to September in 2007-2009 (Continued)

Station	Factor	July		August		September	
		2009	2008+2007	2009	2008+2007	2009	2008+2007
St. 6	T.	20.33 $\pm$ 0.85	24.05 $\pm$ 1.90	24.92 $\pm$ 1.37	24.34 $\pm$ 0.48	24.25 $\pm$ 0.63	24.81 $\pm$ 1.31
	S.	33.02 $\pm$ 0.52	32.92 $\pm$ 0.31	30.95 $\pm$ 0.44	32.67 $\pm$ 0.53	31.59 $\pm$ 11.8	32.82 $\pm$ 0.98
	pH	7.99 $\pm$ 0.03	8.03 $\pm$ 0.08	8.42 $\pm$ 0.00	8.01 $\pm$ 0	8.22 $\pm$ 0.04	8.14 $\pm$ 0.08
	DO	8.02 $\pm$ 1.40	8.42 $\pm$ 1.13	7.59 $\pm$ 0.39	8.08 $\pm$ 0.29	7.88 $\pm$ 0.14	7.17 $\pm$ 1.54
	DIN	0.15 $\pm$ 0.08	0.08 $\pm$ 0.04	0.15 $\pm$ 0.05	0.02 $\pm$ 0.01	0.10 $\pm$ 0.03	0.03 $\pm$ 0.02
	DIP	0.01 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.02	0.00 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.01
	Sil.	0.34 $\pm$ 0.11	0.33 $\pm$ 0.08	0.31 $\pm$ 0.11	0.24 $\pm$ 0.14	0.25 $\pm$ 0.26	0.14 $\pm$ 0.05
	C.	1.35 $\pm$ 0.78	11.92 $\pm$ 1.10	1.45 $\pm$ 0.46	31.92 $\pm$ 1.44	2.35 $\pm$ 1.14	2.72 $\pm$ 1.69
	Tr.	1.65 $\pm$ 0.85	4.82 $\pm$ 2.25	4.00 $\pm$ 0.70	6.45 $\pm$ 5.00	2.82 $\pm$ 0.28	5.71 $\pm$ 3.14
St. 7	T.	18.82 $\pm$ 0.7	23.04 $\pm$ 1.93	24.82 $\pm$ 0.64	23.15 $\pm$ 2.56	23.53 $\pm$ 0.56	24.52 $\pm$ 1.17
	S.	33.15 $\pm$ 0.20	33.23 $\pm$ 0.32	31.05 $\pm$ 0.81	32.79 $\pm$ 0.58	31.71 $\pm$ 11.8	33.03 $\pm$ 0.87
	pH	8.01 $\pm$ 0.09	8.15 $\pm$ 0.04	8.42 $\pm$ 0.02	8.14 $\pm$ 0.04	8.28 $\pm$ 0.02	8.19 $\pm$ 0.09
	DO	9.81 $\pm$ 3.12	8.34 $\pm$ 1.05	7.74 $\pm$ 0.50	8.82 $\pm$ 1.45	8.62 $\pm$ 0.07	6.68 $\pm$ 1.18
	DIN	0.11 $\pm$ 0.07	0.05 $\pm$ 0.02	0.15 $\pm$ 0.03	0.07 $\pm$ 0.13	0.10 $\pm$ 0.02	0.04 $\pm$ 0.03
	DIP	0.00 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.02	0.00 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.01	0.00 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.02
	Sil.	0.25 $\pm$ 0.03	0.32 $\pm$ 0.08	0.25 $\pm$ 0.09	0.21 $\pm$ 0.26	0.14 $\pm$ 0.05	0.15 $\pm$ 0.06
	C.	2.65 $\pm$ 2.13	5.91 $\pm$ 0.81	1.46 $\pm$ 0.34	18.56 $\pm$ 1.30	2.07 $\pm$ 1.04	1.81 $\pm$ 1.24
	Tr.	3.12 $\pm$ 0.79	8.51 $\pm$ 4.37	5.45 $\pm$ 1.41	6.82 $\pm$ 3.17	5.52 $\pm$ 3.04	7.82 $\pm$ 3.23
St. 8	T.	19.32 $\pm$ 0.48	23.07 $\pm$ 2.16	25.14 $\pm$ 0.09	24.32 $\pm$ 0.19	23.45 $\pm$ 0.65	25.09 $\pm$ 1.76
	S.	32.72 $\pm$ 0.75	33.12 $\pm$ 0.45	31.36 $\pm$ 0.58	32.43 $\pm$ 0.24	31.87 $\pm$ 11.7	32.61 $\pm$ 1.13
	pH	8.01 $\pm$ 0.03	8.14 $\pm$ 0.04	8.42 $\pm$ 0.00	8.15 $\pm$ 0.02	8.23 $\pm$ 0.02	8.15 $\pm$ 0.07
	DO	10.21 $\pm$ 2.89	8.24 $\pm$ 1.32	7.56 $\pm$ 0.28	8.23 $\pm$ 0.90	8.21 $\pm$ 0.68	6.62 $\pm$ 1.15
	DIN	0.07 $\pm$ 0.03	0.06 $\pm$ 0.03	0.14 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.03	0.11 $\pm$ 0.01	0.03 $\pm$ 0.03
	DIP	0.00 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.03	0.00 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.01	0.00 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.00
	Sil.	0.25 $\pm$ 0.03	0.23 $\pm$ 0.06	0.12 $\pm$ 0.00	0.22 $\pm$ 0.16	0.18 $\pm$ 0.03	0.17 $\pm$ 0.03
	C.	2.32 $\pm$ 1.42	3.52 $\pm$ 0.58	1.06 $\pm$ 0.30	11.36 $\pm$ 0.69	2.12 $\pm$ 1.05	1.55 $\pm$ 1.30
	Tr.	4.32 $\pm$ 0.49	7.15 $\pm$ 2.49	5.94 $\pm$ 1.48	5.65 $\pm$ 1.04	6.14 $\pm$ 2.25	10.16 $\pm$ 5.77
St. 9	T.	19.88 $\pm$ 0.56	23.25 $\pm$ 1.45	24.51 $\pm$ 1.20	24.35 $\pm$ 0.19	23.82 $\pm$ 0.59	24.83 $\pm$ 1.28
	S.	33.04 $\pm$ 0.51	32.92 $\pm$ 0.20	31.14 $\pm$ 0.29	32.67 $\pm$ 0.48	31.65 $\pm$ 11.8	33.14 $\pm$ 0.81
	pH	8.02 $\pm$ 0.07	8.13 $\pm$ 0.07	8.45 $\pm$ 0.04	8.03 $\pm$ 0.02	8.24 $\pm$ 0.05	8.12 $\pm$ 0.05
	DO	8.52 $\pm$ 1.28	8.48 $\pm$ 1.18	7.74 $\pm$ 0.70	7.82 $\pm$ 0.23	7.94 $\pm$ 0.35	6.93 $\pm$ 1.37
	DIN	0.11 $\pm$ 0.03	0.08 $\pm$ 0.03	0.16 $\pm$ 0.02	0.02 $\pm$ 0.02	0.08 $\pm$ 0.04	0.03 $\pm$ 0.02
	DIP	0.01 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.02	0.00 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.04 $\pm$ 0.04
	Sil.	0.35 $\pm$ 0.07	0.21 $\pm$ 0.06	0.33 $\pm$ 0.09	0.26 $\pm$ 0.11	0.26 $\pm$ 0.31	0.15 $\pm$ 0.04
	C.	2.45 $\pm$ 1.72	16.82 $\pm$ 3.12	2.42 $\pm$ 0.18	44.25 $\pm$ 0.74	2.49 $\pm$ 1.32	3.48 $\pm$ 1.37
	Tr.	1.83 $\pm$ 1.08	5.62 $\pm$ 1.60	3.03 $\pm$ 1.41	6.65 $\pm$ 6.83	2.96 $\pm$ 1.36	4.62 $\pm$ 3.17
St.10	T.	18.52 $\pm$ 0.59	22.03 $\pm$ 2.13	24.11 $\pm$ 1.42	22.95 $\pm$ 1.33	23.34 $\pm$ 0.48	24.26 $\pm$ 1.14
	S.	33.05 $\pm$ 0.51	33.24 $\pm$ 0.37	31.33 $\pm$ 0.49	32.64 $\pm$ 0.11	31.65 $\pm$ 11.8	32.72 $\pm$ 0.90
	pH	8.02 $\pm$ 0.04	8.14 $\pm$ 0.04	8.45 $\pm$ 0.01	8.13 $\pm$ 0.05	8.26 $\pm$ 0.04	8.14 $\pm$ 0.10
	DO	10.51 $\pm$ 2.86	8.42 $\pm$ 1.35	7.56 $\pm$ 0.38	8.31 $\pm$ 0.90	8.02 $\pm$ 0.15	6.45 $\pm$ 1.23
	DIN	0.10 $\pm$ 0.04	0.05 $\pm$ 0.02	0.15 $\pm$ 0.13	0.04 $\pm$ 0.07	0.09 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.03
	DIP	0.00 $\pm$ 0.00	0.03 $\pm$ 0.03	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.00
	Sil.	0.26 $\pm$ 0.04	0.23 $\pm$ 0.05	0.15 $\pm$ 0.05	0.24 $\pm$ 0.14	0.25 $\pm$ 0.21	0.16 $\pm$ 0.06
	C.	1.26 $\pm$ 1.13	6.05 $\pm$ 0.79	1.63 $\pm$ 0.13	19.12 $\pm$ 1.11	1.53 $\pm$ 0.71	1.72 $\pm$ 1.48
	Tr.	4.01 $\pm$ 0.90	6.32 $\pm$ 3.35	4.75 $\pm$ 0.35	5.13 $\pm$ 1.44	6.07 $\pm$ 2.5	7.82 $\pm$ 7.72

T., temperature (°C); S., salinity; DO, dissolved oxygen (mg/L); DIN, dissolved inorganic nitrogen (mg/L); DIP, dissolved inorganic phosphorus (mg/L); Sil, silicate (mg/L); C., chlorophyll a (µg/L); Tr. transparency (m).

Table 1. The monthly variations of surface water factors (average  $\pm$  S.D.) from July to September in 2007-2009 (Continued)

Station	Factor	July		August		September	
		2009	2008+2007	2009	2008+2007	2009	2008+2007
St. 11	T.	18.75 $\pm$ 1.23	22.42 $\pm$ 1.27	24.05 $\pm$ 0.82	23.24 $\pm$ 0.61	23.65 $\pm$ 0.24	23.92 $\pm$ 1.27
	S.	33.02 $\pm$ 0.97	32.83 $\pm$ 0.51	31.44 $\pm$ 0.24	32.83 $\pm$ 0.41	31.64 $\pm$ 11.9	33.15 $\pm$ 0.90
	pH	8.03 $\pm$ 0.12	8.15 $\pm$ 0.05	8.43 $\pm$ 0.04	8.02 $\pm$ 0.02	8.25 $\pm$ 0.04	8.14 $\pm$ 0.06
	DO	8.42 $\pm$ 0.59	8.53 $\pm$ 1.33	8.05 $\pm$ 0.21	7.94 $\pm$ 0.14	7.66 $\pm$ 0.12	6.89 $\pm$ 1.41
	DIN	0.14 $\pm$ 0.03	0.10 $\pm$ 0.04	0.15 $\pm$ 0.06	0.04 $\pm$ 0.05	0.05 $\pm$ 0.05	0.05 $\pm$ 0.03
	DIP	0.01 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.02	0.00 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.01	0.00 $\pm$ 0.00	0.03 $\pm$ 0.03
	Sil.	0.36 $\pm$ 0.09	0.33 $\pm$ 0.08	0.21 $\pm$ 0.03	0.25 $\pm$ 0.14	0.02 $\pm$ 0.00	0.12 $\pm$ 0.08
	C.	2.52 $\pm$ 2.44	11.62 $\pm$ 0.95	1.94 $\pm$ 0.72	33.82 $\pm$ 2.06	0.95 $\pm$ 1.60	2.56 $\pm$ 0.84
	Tr.	3.00 $\pm$ 1.80	5.00 $\pm$ 2.16	2.52 $\pm$ 0.70	4.31 $\pm$ 2.47	2.82 $\pm$ 0.57	3.24 $\pm$ 1.30
St. 12	T.	18.32 $\pm$ 0.73	21.73 $\pm$ 1.32	24.12 $\pm$ 0.62	22.34 $\pm$ 1.63	23.35 $\pm$ 0.75	23.62 $\pm$ 1.18
	S.	33.05 $\pm$ 0.19	33.25 $\pm$ 0.29	31.42 $\pm$ 0.32	32.93 $\pm$ 0.33	31.63 $\pm$ 11.9	33.02 $\pm$ 1.02
	pH	8.01 $\pm$ 0.12	8.02 $\pm$ 0.08	8.43 $\pm$ 0.04	8.02 $\pm$ 0.07	8.24 $\pm$ 0.02	8.15 $\pm$ 0.07
	DO	9.82 $\pm$ 3.01	8.05 $\pm$ 0.75	7.89 $\pm$ 0.07	8.33 $\pm$ 0.01	8.06 $\pm$ 0.06	6.33 $\pm$ 1.11
	DIN	0.12 $\pm$ 0.03	0.08 $\pm$ 0.03	0.09 $\pm$ 0.03	0.06 $\pm$ 0.09	0.09 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.04
	DIP	0.00 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.02	0.00 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.01	0.00 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.01
	Sil.	0.24 $\pm$ 0.04	0.25 $\pm$ 0.08	0.23 $\pm$ 0.01	0.22 $\pm$ 0.20	0.26 $\pm$ 0.24	0.19 $\pm$ 0.03
	C.	2.35 $\pm$ 2.48	10.32 $\pm$ 0.64	1.65 $\pm$ 0.65	30.31 $\pm$ 1.98	1.74 $\pm$ 0.32	1.75 $\pm$ 0.60
	Tr.	2.42 $\pm$ 0.38	4.75 $\pm$ 1.35	3.52 $\pm$ 2.12	3.33 $\pm$ 0.28	4.82 $\pm$ 0.76	3.54 $\pm$ 1.55
St. 13	T.	18.19 $\pm$ 0.19	21.52 $\pm$ 2.87	23.53 $\pm$ 0.39	21.24 $\pm$ 2.48	22.95 $\pm$ 0.86	24.02 $\pm$ 1.38
	S.	33.15 $\pm$ 0.51	33.14 $\pm$ 0.37	31.56 $\pm$ 0.22	32.94 $\pm$ 0.40	31.77 $\pm$ 11.9	33.26 $\pm$ 1.06
	pH.	8.03 $\pm$ 0.08	8.01 $\pm$ 0.05	8.42 $\pm$ 0.05	7.96 $\pm$ 0.16	8.22 $\pm$ 0.05	8.16 $\pm$ 0.04
	DO	10.01 $\pm$ 3.31	8.19 $\pm$ 0.58	7.87 $\pm$ 0.24	8.04 $\pm$ 1.06	7.83 $\pm$ 0.26	6.45 $\pm$ 0.99
	DIN	0.13 $\pm$ 0.03	0.11 $\pm$ 0.04	0.08 $\pm$ 0.00	0.03 $\pm$ 0.03	0.09 $\pm$ 0.01	0.05 $\pm$ 0.04
	DIP	0.01 $\pm$ 0.00	0.03 $\pm$ 0.03	0.00 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.01
	Sil.	0.24 $\pm$ 0.04	0.22 $\pm$ 0.07	0.25 $\pm$ 0.01	0.23 $\pm$ 0.16	0.14 $\pm$ 0.04	0.15 $\pm$ 0.06
	C.	0.87 $\pm$ 0.72	8.65 $\pm$ 0.75	1.94 $\pm$ 0.07	29.82 $\pm$ 1.70	3.45 $\pm$ 1.29	1.76 $\pm$ 0.51
	Tr.	2.68 $\pm$ 0.76	5.37 $\pm$ 1.88	3.29 $\pm$ 1.76	3.54 $\pm$ 1.32	5.83 $\pm$ 0.28	9.82 $\pm$ 4.83

T., temperature (°C); S., salinity; DO, dissolved oxygen (mg/L); DIN, dissolved inorganic nitrogen (mg/L); DIP, dissolved inorganic phosphorus (mg/L); Sil, silicate (mg/L); C., chlorophyll a ( $\mu$ g/L); Tr. transparency (m).

으로 2배 이상의 고농도를 보인 것은 매우 큰 특징이라 할 수 있다. DIP의 경우 2009년 전 정점에서 7월, 8월, 9월 모두 평균 0.01mg/L 정도의 범위를 보여 2008년과 2007년도와 비교시 큰 차이를 보이지 않고 오히려 적조발생 년도보다 낮은 농도를 보이는 정점을 나타내고 있다. 따라서 적조발생에 따른 DIN과 DIP 농도차이는 적조가 발생되지 않은 년도에 비하여 현저한 반대현상을 보이고 있다. Silicate도 DIP처럼 적조발생 유무에 따른 차이를 나타내지 못하고 있고, 오히려 낮은 농도를 보이고 있는 정점과 월별을 보이고 있다. Chl-a의 경우 2009년의 농도보다 적조가 발생된 년도에서 훨씬 높은 농도를 보였으나, 9월에는 7월과 8월에 비교하여 월등히 높은 농도를 나타내지 못하고 약 1.5배 정도 높은 값을 보였다. 투명도는 적조발생 유무에 따라 큰 차이를 볼 수 없고 2009년은 2008년 및 2007년과의 평균 4-9m 정도 범위를 나타내고 있다.

### 3.2 식물플랑크톤

Table 2는 적조가 발생된 2008년 및 2007년, 적조가 발생되지 않은 2009년 7월, 8월, 9월에 대한 정점별 우점종을 나타낸 것이다. 2009년 7월의 경우 규조류가 외편모조류보다 우점으로 많이 출현되었다. 특히 *Chaetoceros* spp., *Skeletonema costatum*이 대부분 전 정점에서 많이 보인 반면에, 외편모조류로는 *Ceratium furca* 혹은 *C. fusus*가 북돌바다, 고힌반도 남단에서 많이 출현되었다. 적조가 발생된 년도에도 *Chaetoceros* spp.가 가장 많이 출현되었고, 외편모조류로는 *C. fusus*, *Gymnodinium catenatum*이 나타났다. 2009년도 마찬가지로 규조류가 남해안 전 해역을 통하여 가장 높은 밀도로 점유하고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 2009년 8월의 경우 규조류 대신 *Gonyaulax polygramma*라는 외편모조류에 속하는 종이 남해안 전 정점에서 월등히 높은 밀도를 보인 반면에, 2008년과 2007년의 경우 *G. polygramma* 종 대신에 7월처럼 *Chaetoceros* spp.가 우점으로 많이 출현되었다. 2009

Table 2. Monthly change in dominant phytoplankton species

Station	July		August		September	
	2009 (%)	2008+2007 (%)	2009 (%)	2008+2007 (%)	2009 (%)	2008+2007 (%)
St. 1	<i>Ceratium furca</i> (28.2)	<i>Gonyaulax</i> sp. (23.9)	<i>G. polygramma</i> (88.8)	<i>Chaetoceros</i> sp. (23.7)	<i>Chaetoceros</i> spp. (70.4)	<i>C. furca</i> (32.5)
	<i>Chaetoceros</i> spp. (44.7)	<i>C. danicus</i> (29.0)	<i>C. curvisetus</i> (9.5)	<i>Skeletonema costatum</i> (39.9)		<i>C. debilis</i> (44.1)
		<i>C. curvisetus</i> (34.7)		<i>Chaetoceros</i> spp. (49.5)		<i>Thalassiothrix fraudellii</i> (25.5)
		<i>Scropsiella trochodea</i> (21.7)				
St. 2	<i>C. fusus</i> (25.2)	<i>C. fusus</i> (38.0)	<i>Ceratium</i> spp. (22.9)	<i>C. curvisetus</i> (44.1)	<i>C. calcitrans</i> (39.1)	<i>C. furca</i> (58.2)
	<i>Chaetoceros</i> spp. (59.9)	<i>C. anastomosans</i> (22.5)	<i>C. curvisetus</i> (61.6)	<i>S. costatum</i> (68.8)		<i>Thalassiosira longissima</i> (22.9)
		<i>C. curvisetus</i> (49.1)				<i>Chaetoceros</i> spp. (45.1)
St. 3	<i>C. fusus</i> (19.5)	<i>Rhizosolenia setigera</i> (28.5)	<i>G. polygramma</i> (100.0)	<i>C. brevis</i> (30.9)	<i>Chaetoceros</i> spp. (65.0)	<i>Chaetoceros</i> sp. (22.5)
	<i>Chaetoceros</i> spp. (51.2)	<i>C. curvisetus</i> (39.1)		<i>S. costatum</i> (69.0)		<i>R. setigera</i> (39.9)
		<i>T. longissima</i> (25.0)		<i>Chaetoceros</i> spp. (40.1)		<i>T. longissima</i> (31.8)
		<i>Chaetoceros</i> spp. (75.0)				<i>Chaetoceros</i> spp. (35.5)
St. 4	<i>Chaetoceros</i> spp. (70.2)	<i>Gonyaulax</i> sp. (39.2)	<i>G. polygramma</i> (88.2)	<i>C. affinis</i> (29.1)	<i>Chaetoceros</i> spp. (66.6)	<i>S. costatum</i> (22.9)
		<i>C. fusus</i> (61.2)	<i>Chaetoceros</i> spp. (10.1)	<i>C. curvisetus</i> (45.9)		<i>R. setigera</i> (40.2)
St. 5	<i>Pseudonitzschia</i> sp. (22.7)	<i>C. furca</i> (25.5)	<i>G. polygramma</i> (90.0)	<i>C. deceipens</i> (22.5)	<i>Guinardia flaccida</i> (59.2)	<i>G. polygramma</i> (19.2)
	<i>Chaetoceros</i> spp. (37.2)	<i>C. fusus</i> (30.2)	<i>Chaetoceros</i> spp. (8.9)	<i>C. furca</i> (20.1)		<i>R. setigera</i> (25.5)
		<i>C. curvisetus</i> (39.0)		<i>Chaetoceros</i> spp. (29.9)		<i>T. fraudellii</i> (22.9)
		<i>T. longissima</i> (28.7)				<i>Pseudonitzschia</i> sp (35.5).
St. 6	<i>C. furca</i> (19.0)	<i>Gyrodinium impudicum</i> (21.2)	<i>G. polygramma</i> (100.0)	<i>T. longissima</i> (30.1)	<i>Chaetoceros</i> spp. (60.5)	<i>Leptocylindrus danicus</i> (25.4)
	<i>Chaetoceros</i> spp. (49.5)	<i>C. anastomosans</i> (35.1)		<i>C. curvisetus</i> (48.9)		<i>T. longissima</i> (29.5)
		<i>C. curvisetus</i> (51.2)		<i>Chaetoceros</i> spp. (22.9)		<i>Chaetoceros</i> spp. (37.0)
		<i>T. longissima</i> (20.9)				
St. 7	<i>C. furca</i> (12.9)	<i>R. setigera</i> (25.5)	<i>G. polygramma</i> (91.2)	<i>C. brevis</i> (31.9)	<i>Cosinodiscus gigas</i> (47.4)	<i>T. fraudellii</i> (25.3)
	<i>S. costatum</i> (65.9)	<i>C. anastomosans</i> (40.0)	<i>C. furca</i> (3.7)	<i>L. danicus</i> (23.9)		<i>R. setigera</i> (40.1)
		<i>C. curvisetus</i> (33.3)		<i>Chaetoceros</i> spp. (44.1)		<i>L. danicus</i> (35.5)
		<i>Stephanopyxis palmeriana</i> (29.7)		<i>S. costatum</i> (50.5)		<i>S. palmeriana</i> (23.3)
					<i>Chaetoceros</i> spp. (28.2)	

Table 2. Monthly change in dominant phytoplankton species (Continued)

Station	July		August		September	
	2009 (%)	2008+2007 (%)	2009 (%)	2008+2007 (%)	2009 (%)	2008+2007 (%)
St. 8	<i>C. furca</i> (22.7)	<i>G. catenatum</i> (39.2)	<i>G. polygramma</i> (87.8)	<i>P. depressum</i> (32.2)	<i>Chaetoceros</i> spp. (78.7)	<i>L. danicus</i> (20.5)
	<i>S. costatum</i> (56.2)	<i>C. fusus</i> (35.5)	<i>Pseudonitzschia</i> spp. (10.2)	<i>Navicula sigma</i> (18.7)		<i>T. deceipens</i> (51.5)
		<i>S. palmeriana</i> (44.8)		<i>Chaetoceros</i> spp. (49.9)		<i>T. longissima</i> (50.4)
				<i>T. longissima</i> (59.8)		<i>C. furca</i> (20.7) <i>Chaetoceros</i> spp. (49.7)
St. 9	<i>Chaetoceros</i> spp. (70.2)	<i>R. acuminata</i> (42.5)	<i>G. polygramma</i> (100.0)	<i>T. longissima</i> (60.5)	<i>Chaetoceros</i> spp. (88.2)	<i>T. longissima</i> (73.2)
	<i>C. furca</i> (10.1)	<i>C. anastomosans</i> (25.7)		<i>C. curvisetus</i> (39.1)		<i>Chaetoceros</i> spp. (55.7)
		<i>C. curvisetus</i> (39.7)		<i>Chaetoceros</i> spp. (29.7)		
		<i>Chaetoceros</i> spp. (22.2)				
St. 10	<i>C. danicus</i> (34.7)	<i>Noctiluca scintalus</i> (20.7)	<i>G. polygramma</i> (100.0)	<i>Lamphora</i> sp. (20.1)	<i>Chaetoceros</i> spp. (90.1)	<i>C. curvisetus</i> (39.9)
	<i>S. costatum</i> (55.0)	<i>Lamphora</i> sp. (31.9)		<i>C. brevis</i> (40.9)		<i>C. gigas</i> (29.5)
		<i>C. curvisetus</i> (69.9)		<i>Chaetoceros</i> spp. (50.9)		<i>T. fraudellii</i> (60.5)
						<i>C. curvisetus</i> (25.1) <i>Chaetoceros</i> spp. (55.2)
St. 11	<i>C. gigas</i> (22.9)	<i>Gonyaulax</i> sp. (22.2)	<i>G. polygramma</i> (100.0)	<i>Chaetoceros</i> spp. (40.1)	<i>Chaetoceros</i> spp. (77.0)	<i>Chaetoceros</i> spp. (47.2)
	<i>Chaetoceros</i> spp. (66.1)	<i>C. curvisetus</i> (44.9)		<i>C. tripos</i> (21.1)		<i>C. gigas</i> (23.2)
		<i>S. palmeriana</i> (29.7)		<i>S. costatum</i> (31.2)		<i>G. flaccida</i> (37.8) <i>T. longissima</i> (60.0)
St. 12	<i>C. affine</i> (40.1)	<i>C. gigas</i> (20.5)	<i>G. polygramma</i> (88.1)	<i>S. costatum</i> (29.7)	<i>Chaetoceros</i> spp. (90.2)	<i>Grammatophora marina</i> (27.4)
	<i>S. costatum</i> (30.9)	<i>C. fusus</i> (25.7)	<i>Chaetoceros</i> spp. (9.4)	<i>C. gigas</i> (20.0)		<i>T. longissima</i> (40.4)
		<i>C. curvisetus</i> (39.5)		<i>Chaetoceros</i> spp. (40.9)		<i>Cyclotella nana</i> (64.9)
		<i>S. palmeriana</i> (50.0)		<i>T. longissima</i> (41.7)		<i>T. fraudellii</i> (58.7)
St. 13	<i>S. costatum</i> (88.7)	<i>C. gigas</i> (39.5)	<i>G. polygramma</i> (100.0)	<i>S. costatum</i> (39.7)	<i>Chaetoceros</i> spp. (81.9)	<i>C. anastomonas</i> (32.4)
		<i>Gyrodinium spirale</i> (21.1)		<i>Protoperidinium</i> sp. (25.5)		<i>C. gigas</i> (28.7)
		<i>C. curvisetus</i> (69.5)		<i>Chaetoceros</i> spp. (47.2)		<i>Chaetoceros</i> spp. (70.4)

년 9월에는 종이 완전히 찢어되어 *Chaetoceros* spp.가 남해안 전 해역에서 우점종 중에서 가장 많이 출현된 반면에, 적조가 발생된 년도에서는 *Chaetoceros* spp.도 많이 출현되었지만, *Thalassiosira* spp., *Rhizosolenia setigera* 등도 많이 나타났다. 따라서 2007년부터 2009년 동안 여름철 우점종으로 와편모조류보다 규조류의 점유율이 높게 나타났다. 특히 *Chaetoceros* spp.는 남해안의 대표종으로 간주할 만큼 월등한 점유세력을 보이고 있다. 특이사항으로는 2009년 8월에 *G. polygramma* 종이 *Chaetoceros* spp. 보다 훨씬 높은 우점율을 보인 것은 매우 이례적이다.

### 3.3 기상조건

2009년 6월 고흥, 여수, 완도지역의 강수량은 480.7~569.5 mm로서 2007년과 2008년에 비하여 높은 강수량을 보였으나, 7월과 8월의 경우 적조발생 년도에서 최소 260mm 이상의 강수량을 보여 2009년에 비하면 약 2 배 이상의 많은 비가 왔다는 것을 알 수 있다(Table 3). 그러나 9월에는 적조발생 유무에 관계없이 거의 동일한 범위내의 강수량을 보였다. 일조량을 보면 적조가 발생된 년도에서 6월, 7월, 8월이 2009년에 비하여 약 1.2배 정도 많은 일조량을 보였으나, 9월에는

2009년의 일조량 범위가 225.2~230시간으로 적조가 발생된 년도에 비하여 약 20시간 많은 일조량을 보였다(Table 4).

Table 3. The precipitation(mm) in Goheung, Yeosu and Wando during the period of summer in 2007-2009. Data from Gwangju Regional Meterological Administration(KMA, 2010)

Year	Month	Goheung	Yeosu	Wando
2007	June	333	330.5	299.5
	July	290	269.1	291.7
	August	598	312	554.1
2008	September	93	94.3	97.5
	June	76.1	62.1	79
	July	123.8	152.2	105.1
2009	August	16.5	39.4	45.3
	September	48.4	34.2	91.4
	June	491.2	480.7	569.5
2009	July	94.2	54.3	160.1
	August	49.1	40.7	73.4
	September	59.1	55.1	76.4

Table 4. The duration of sunshine(hr) Goheung, Yeosu and Wando during the period of summer in 2007-2009. Data from Gwangju Regional Meterological Administration(KMA, 2010)

Year	Month	Goheung	Yeosu	Wando
2007	June	124.9	139.6	142.5
	July	158.7	169.9	183.7
	August	99.7	113.5	104.8
	September	203.5	210.4	205.5
2008	June	161.8	185.7	163.7
	July	191	223	189.6
	August	139.3	152.8	137.5
	September	182.3	196.7	184.7
2009	June	101.2	113.1	128
	July	126.5	154.8	148
	August	167.2	180.8	188
	September	225.2	237.4	230

### 3.4 Redfield ratio

7월경의 N:P ratio를 보면 2009년뿐만 아니라 2008년과 2007년 전 해역 모두 16 이하로 나타났으나, 대체로 2009년이 2008년 및 2007년에 비하여 상대적으로 N:P ratio가 6 이상으로 나타났다(Fig. 2).

그러나 8월경에는 조사정점 3과 13을 제외한 나머지 정점에서 2009년 해역에서 N:P ratio가 16 이상을 보였다. 2008년 및 2007년은 7월과 거의 유사한 N:P ratio 10 이하를 나타내고 있다. 9월에도 2009년 정점 6을 제외한 나머지 해역은 모두 N:P ratio 16 이상을 보이고 있다. 특히 정점 5는 N:P ratio가 60 이상을 보여 조사기간 중 최고를 보였다. 2008년 및 2007년은 9월에도 7월과 8월처럼 N:P ratio 5 이하의 낮은 값을 보이고 있다.

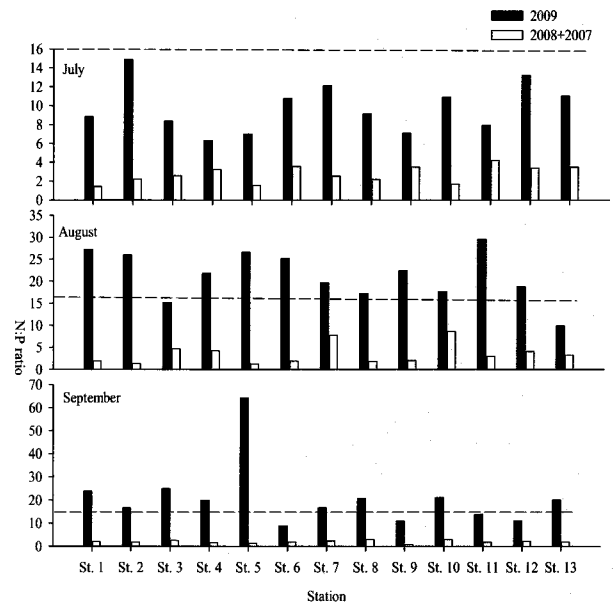


Fig. 2. Comparison of N:P ratio between 2009 and 2008/2007. The dashed lines show the limitation values of N:P ratio.

은 값을 보이고 있다. 7월의 Si:N ratio는 N:P ratio와는 정반대로 2009년보다 2008년 및 2007년의 비율이 전 구간을 통하여 훨씬 높은 값을 보였다(Fig. 3). 그러나 2009년 Si:N ratio는 전 해역에서 모두 1 이상을 나타내고 있다. 8월에는 2009년과 2008년 및 2007년의 비율에서 보면 정점 5의 경우 2009년보다 Si:N 비율이 약 9배 이상 차이를 보이고 있다. 9월에도 8월과 비슷한 경향을 보이고 있고, 2009년의 Si:N 비율은 7월, 8월, 9월 모두 4 이하의 낮은 값을 보이고 있다. 7월의 Si:P 비율을 보면 2009년 정점 1, 4, 5를 제외한 나머지 해역에서는 16 이상을 나타내고 있다(Fig. 4). 2008년 및 2007년의 경우 정점 3을 제외한 나머지 정점에서는 모두 16이하를 보여 2009년과는 반대의 결과를 보이고 있다. 8월도 7월처럼 2009년에서 Si:P 비율이 높은 양상을 보이고 있다. 7월에는 2008년 및 2007년이 정점 3에서만 16이상을 보였으나, 8월에는 정점 1, 2, 8을 제외한 나머지 정점에서는 모두 16이상을 보여 7월보다 높은 비율을 보이고 있다. 9월도 2009년이 2008년 및 2007년 보다 훨씬 높은 Si:P 비율을 보이고 있다. 정점 5의 경우 2009년과 2008년 및 2007년 차이를 보면 약 5 배 이상을 현저한 차이를 나타내고 있다. 2008년 및 2007년 Si:P 비율은 8월에 비하여 대부분의 정점에서 16이하의 낮은 값을 보이고 있다.

## 4. 고찰

Table 2에서 보듯이 여름철 남해안의 주요 식물플랑크톤은 *C. polykrikoides*와 같은 와편모조류가 아니고 *Chaetoceros* spp., *S. costatum*, *Thalassiosira* spp. 등과 같은 규조류로



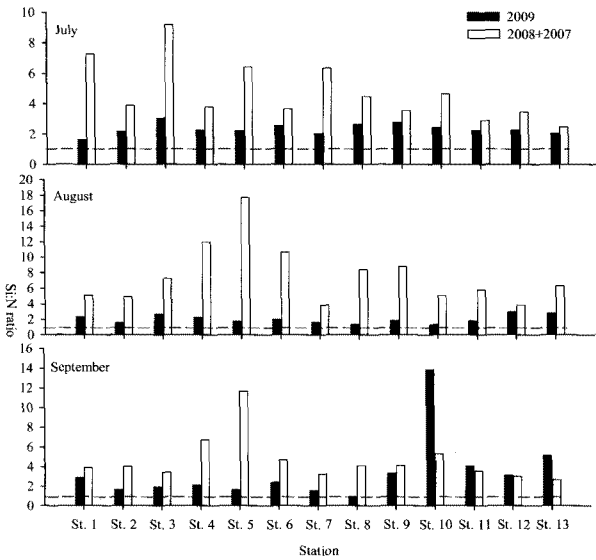


Fig. 3. Comparison of Si:N ratio between 2009 and 2008/2007. The dashed lines show the limitation values of Si:N ratio.

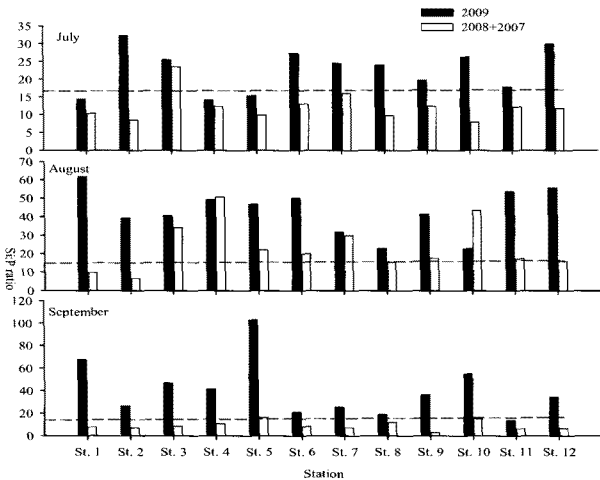


Fig. 4. Comparison of Si:P ratio between 2009 and 2008/2007. The dashed lines show the limitation values of Si:P ratio.

점유하고 있다. 물론 *C. polykrikoides* 적조발생 지점이 본 조사 정점과는 다를 수도 있지만, 3년 동안 본 정점에서는 확실히 와편모조류보다 규조류의 빈도율이 훨씬 높게 나타난 사실은 틀림없다. 일반적으로 *C. polykrikoides*는 수온이 상승되는 6월부터 나타나기 시작하여 적조형성은 7월말에서 8월 초순경에 발생된다. 그러나 2009년 6월부터 집중적인 강우로 인하여 평균 표층수온이 현저히 낮은 20°C 정도를 나타낸 점은 세포를 기하급수적으로 증대시키기 위해서는 수온이 너무 낮고, 적조가 활발히 형성되는 8월경의 염분이 30 정도로 약 2이상 낮은 값이기 때문에 *C. polykrikoides*의 적조형성에 많은 제한적인 환경요인으로 작용한 것 같다. 따라서 6

월부터 남해안에 내린 비의 영향은 *C. polykrikoides* 적조형성을 차단할 만큼 해양환경에 엄청난 큰 변화를 초래한 것인지 잘 알 수 있다. 대부분의 식물플랑크톤 성장은 대수 증식기에 도달하기 위해서는 외부에서 많은 에너지원이 필요하다. 즉 수온, 염분처럼 환경요인이 성장을 위한 세포내의 생리활성 물질을 최대한으로 작용하기 위한 필수적인 외부 환경요인이 필요하다. 따라서 외부적 환경요인이 적합하지 못하면 성장이 정체되거나 정지된 상태로 유지될 수 있다. 따라서 *C. polykrikoides* 대수증식기의 변곡점이 될 수 있는 시점에서 너무 낮은 수온과 일조량이 적음(Table 4)에 따라 세포생리 활성이 적조가 발생된 년도에 비하여 현저히 낮은 상태로 유지된 것 같다. 그러나 8월경에는 표층수온이 적조가 발생된 년도와 거의 비슷한 24°C 이상을 나타내었으나, 염분이 상대적으로 낮아서 *C. polykrikoides* 성장에 많은 악영향을 미친 것으로 보인다. 또한 이 시기 동안 남해안에는 *G. polygramma*라는 종으로 완전히 천이되어 *C. polykrikoides* 생물이 적조로 형성되기에는 세력이 너무 미약함과 아울러 9월경에는 *Chaetoceros* spp. 등과 같은 규조류의 월등한 점유세력에 의하여 *C. polykrikoides* 적조형성이 되지 않은 원인을 환경생물학적으로 설명 될 수 있을 것 같다.

2009년 6월부터 시작된 집중강우와 일조량 부족으로 남해안 전 해역의 Chl-*a* 농도는 현저히 낮은 값을 보였으나, 9월부터는 정상적인 수치를 보이고 있는 것은 집중강우의 영향으로 남해안 식물플랑크톤 현존량 저하에 얼마나 많은 영향을 미쳤는지를 알 수 있다. 또한 Table 4에서 나타난 바와 같이 2009년 8월부터는 일조량이 많아져서, 오히려 적조가 발생된 년도보다 높은 일조시간을 보였다. 그러나 높은 일조량에도 불구하고 Chl-*a* 값이 저조한 이유는 식물플랑크톤의 성장 시점에 일조량 감소로 인하여 성장추세가 지연된 것으로 추측되어, *C. polykrikoides* 적조가 발생되지 않은 이유도 이러한 성장 Timing에 기상조건이 적합하지 않으면 적조로 발생되는데 많은 제약이 될 수 있다는 것을 알 수 있다. 적조가 발생하는 시점인 7월부터의 강우량과 일조량을 보면 2009년에 비하여 강우량은 적지만 일조량이 풍부하여 *C. polykrikoides* 대수증식기를 신속히 진행될 수 있는 환경요인을 제공하여 적조 타이밍과 잘 일치가 되는 것을 알 수 있다(Table 4). 따라서 *C. polykrikoides* 적조발생 시점과 기상조건은 얼마나 중요한 상관관계를 이루고 있는 것을 본 연구에서 잘 알 수 있고, 이러한 타이밍 시기를 놓쳐 버리면 적조형성은 매우 어렵다는 것을 알 수 있다.

남해안은 지형학적으로 여름철 일본 열도에서 북상하는 대마난류수의 영향을 받게 된다. 이러한 난류수의 영향으로 *C. polykrikoides* 적조발생 메커니즘을 설명하는 경우가 많다(정 등, 1999). 이러한 난류수의 유입은 남해안의 투명도 변화를 보면 쉽게 알 수 있어서 적조발생 해석에 많은 도움을 주고 있다. 2009년 여름철의 투명도는 적조발생 년도와 비교 시 환경요인처럼 큰 변화가 없고 대체적으로 비슷한 양상을 보임에 따라 2009년 여름철에도 난류수가 남해안에 영향을

미쳤지만, *C. polykrikoides* 적조를 유발시키기 위한 외부 에너지로는 부족하다는 것을 알 수 있다. 따라서 집중강우나 일조량 부족이 투명도까지는 큰 영향을 미치지 못하고, 환경요인 중 가장 중요한 인자인 수온, 염분에는 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

N:P ratio는 식물플랑크톤 세포 내 물질 함량비로 알려진 Redfield ratio가 사용되고 조류의 생물량과 종의 천이를 예측하거나 조류성장에 대한 잠재적인 영양염 제한을 나타내는 간접적인 지표로 활용되고 있다(Smith, 1983). 따라서 N:P ratio가 16이하이고, Si:N ratio가 1이상이면 질소계 영양염류가 제한됨에 따라, *C. polykrikoides* 적조발생 년도에는 뚜렷이 질소계 영양염류가 제한적인 요인으로 작용한다는 것을 현장자료를 보면 알 수 있다. 이러한 질소계 영양염류가 제한적으로 작용되더라도 *C. polykrikoides* 적조발생과는 역상관관계를 가지는 것을 알 수 있다. DIN 농도가 높다고 해서 *C. polykrikoides* 적조발달을 촉진시키는 것이 아니라, 오히려 낮은 농도로 해수 중에 용존하더라도 *C. polykrikoides* 성장유발을 충분히 유발시킬 수 있는 성장생리를 가졌다고 할 수 있다(김 등, 1999). 2009년의 N:P 비율 양상은 인산염이 성장제한으로 작용될 수 있겠으나, Table 1에서 나타난 바와 같이 적조발생 년도와는 큰 농도차이를 나타내고 있지 못하기 때문에 만약에 해서 퇴적물의 용승이나 성층봉괴로 인한 저층의 인산염이 충분히 표층으로 공급되었다면, *C. polykrikoides* 적조발생을 유도할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 DIP의 표층공급은 저층으로부터 완전히 차단되어 집중강우에 의한 DIN의 공급만 유입되어 N:P 비율이 16이상으로 높아진 것으로 생각된다. Cho(2005)의 보고에 따르면 *G. polygramma* 적조는 DIN 농도와 매우 밀접한 관계가 있다고 하였다. 2009년 8월경에 남해안 전역으로 발생한 *G. polygramma*는 집중강우로 인한 고농도의 DIN 공급으로 *C. polykrikoides* 보다 *G. polygramma* 성장을 촉진시킬 수 있는 요인으로 생각된다.

## 5. 결론

2009년 6월부터 남해안 집중강우로 인하여 수온, 염분 등과 같은 해양환경 인자의 변화가 적조가 발생한 년도에 비하여 많은 영향을 미쳤다. 또한 영양염도 적조가 발생년도(2007년과 2008년)에 비하여 N:P, Si:N 비율이 완전히 정반대의 양상을 보여, *C. polykrikoides* 적조발생 시점인 7월부터 해양환경의 급격한 변화로 인하여 *C. polykrikoides* 적조발생 시점의 지연과 함께 이후의 식물플랑크톤 천이에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 연구는 국립수산과학원(남해해양환경연구, RP-10-ME-008)

의 지원에 의해 운영되었습니다. 미흡한 초고를 세심하고 정성스럽게 다듬어 주신 익명의 심사위원께 감사드립니다.

## 참고 문헌

- [1] 국립수산과학원(2008), 2007년도 한국연안의 적조발생상집, pp. 127
- [2] 국립수산과학원(2009), 2008년도 한국연안의 적조발생상집, pp. 154
- [3] 김학균, 박주석, 이삼근, 안경호(1993), 한국연안의 적조생물, pp. 97
- [4] 김학균, 최우정, 정영균, 정창수, 박종수, 안경호, 백철(1999), 나로도 인근해역에서 *Cochlodinium polykrikoides* 적조의 최초발생과 환경, 수진연구보고, 제57권, pp. 119-129.
- [5] 윤양호(2003), 한국 남서해역의 식물플랑크톤 군집 출현 및 분포 특성. 여수대학교 수산과학연구논문집, 제12권, pp. 1-17.
- [6] 정창수, 최우정, 김학균, 정영균, 김정배, 임월에(1999), 1998년도 남해도 인근수역의 *Cochlodinium polykrikoides* 적조발생과 동물플랑크톤의 분포특성. 수진연구보고, 제 57 권, pp. 153-161.
- [7] 해양수산부(2002), 해양환경공정시험방법, 해양수산부, pp. 330
- [8] Azanza, R. V., L. T. David, R. T. Borja, I. U. Baula and Y. Fukuyo(2008), An extensive *Cochlodinium* bloom along the western coast of Palawan, Philippines. Harmful Algae, Vol. 7, pp. 324-330.
- [9] Cho, E. S(2005), First report on *Gonyaulax polygramma* (Gonyaulacales, Dinophyceae) blooms in the Yeosu waters of the South Sea of Korea, Journal of the Environmental Sciences, Vol. 14, pp. 639-647.
- [10] Jeong, H. J., Y. D. Yoo, J. S. Kim, T. H. Kim, N. S. Kang and W. H. Yih(2004), Mixotrophy in the phototrophic harmful algae *Cochlodinium polykrikoides* (Dinophyceae) : Prey species, the effects of prey concentration and grazing impact, Journal Eukaryological Microbiology, Vol. 51, pp. 563-569.
- [11] Kim, C. S., S. G. Lee, C. K. Lee, H. G. Kim and J.Jung(1999), Reactive oxygen species as causative agents in the ichthyotoxicity of the red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*, Journal of Plankton Research, Vol. 21, pp. 589-603.
- [12] Kim, C. S., S. G. Lee and H. G. Kim(2000), Biochemical responses of fish exposed to a harmful dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 254,

pp. 131-141.

- [13] Kim, D. I.(2003), Physiological and ecological studies on harmful red tide dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*, Ph. D. thesis, Kyushu University, (abstract in English), p. 154.
- [14] KMA(2010), <http://web.kma.go.kr>
- [15] Park, T. G. and Y. T. Park(2010), Detection of *Cochlodinium polykrikoides* and *Gymnodinium impudicum*(Dinophyceae) in sediment samples from Korea using real-time PCR, Harmful Algae, Vol. 9, pp. 59-65.
- [16] Smith, V. H(1983), Low nitrogen to phosphorus ratios favor dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. Science, Vol. 221, pp. 669-671.
- [17] Tang, Y. Z. and C. J. Gobler(2009), Characterization of the toxicity of *Cochlodinium polykrikoides* isolates from Northeast US estuaries to finfish and shellfish. Harmful Algae, Vol. 8, pp. 454-462.

---

원고접수일 : 2010년 01월 04일

원고수정일 : 2010년 02월 04일 (1차)

: 2010년 03월 16일 (2차)

게재확정일 : 2010년 03월 24일