

2002년 통영연안의 적조발생전후의 식물플랑크톤 군집구조의 특성

강양순* · 권정노 · 손재경 · 정창수 · 홍석진 · 공재열¹
국립수산과학원 양식환경연구소, ¹부경대학교 식품생명공학부

Interrelation Between Water Quality and Community Structure of Phytoplankton around the Season of Red Tide Outbreak off the Coast of Tongyeong Area, 2002

Yang Soon KANG*, Jung No KWON, Jae Kyoung SHON, S. Jin HONG and Jai Yul KONG¹
Aquaculture and Environment Institute, NFRDI, Tongyeong 650-943, Korea
¹Faculty of Food Science and Biotechnology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

To understand interrelations between water quality and community structure of phytoplankton around the season of red tide outbreak, field surveys were conducted 10 times off the coast of Tongyeong from July to September in 2002. Because of heavy rain for 10 days, environmental conditions were changed and differed from the previous year, sustaining high nutrients and low salinity. During the surveyed period 48 species of 29 genera of phytoplankton were identified, and diatom and dinoflagellate was 51.8% and 38.0%, respectively. At the time of bloom, cell counts of *C. polykrikoides* were outstanding but the number of species remarkably decreased. There were striking differences in dominant species among research stations before the bloom. Diatoms were the most dominant group in the whole study area in that period. Diversity and evenness index were highest just before outbreak of the red tides (2 Aug, 2002). During the bloom (4 Aug.), it decreased to the lowest value and then began to increase slowly. The result of PCA on water quality vs phytoplankton biomass showed that the land loads of nutrient may be the main cause of summer rally of phytoplankton biomass.

Key words: *Cochlodinium polykrikoides*, Diversity and evenness index, Tongyeong, PCA

서론

통영연안은 삼면이 섬으로 오목하게 둘러싸이고, 남쪽은 외해쪽으로 되어있으며, 해안선이 불규칙적이고 긴 리아스식 해안을 이룬다. 또한 수심이 10m 미만인 곳이 많고, 외해쪽으로 갈수록 깊어지는 지형적 특성으로 인해 파랑이 적은 반면, 해수유동이 원활하고 영양염류의 공급이 풍부하므로 수산동식물상이 풍부하다 (Park et al., 2000). 그러나 도시 및 양식산업의 급격한 발달로 인하여 연안이 오염되고 있으며, 특히 통영연안은 양식장이 과도하게 밀집되어 있고, 육상기원오염과 함께 양식장 자체의 오염이 가중되고 있다 (Moon et al., 1992; Lee et al., 1994; Park et al., 2000). 이로 인해 적조가 매해 발생하고 있으며, 양식장에서 지속적인 대량피해를 입고 있다.

해마다 우리나라에 커다란 피해를 입히고 있는 *C. polykrikoides* 적조는 1982년 최초로 발생된 이래 1995년 대규모 적조를 일으킨 이후 유사한 시기에 반복 발생한다 (Kim et al., 2001). *C. polykrikoides* 적조의 발생원인에 대한 많은 연구를 통해 우리나라에서는 나로도 주변해역에서 해수의 물리적 작용에 의한 영양염류의 공급에 의해 최초로 발생된

다는 것을 보여주었다 (Kim, 1988; Park et al., 1988; Jung et al., 1999; Lim et al., 2002). 그러나 통영연안 그리고 동해안까지 발생하는 것은 해류에 의한 유입인지 자체 발생인지 등에 대해서 여러 가지 추측을 할 뿐 명확하게 밝혀지지 않고 있다. 또한 *C. polykrikoides* 적조는 해마다 다른 해양, 환경학적 특성에 의해 발생과 지속을 하고 있기 때문에 적조의 발생기작을 이해하기 위해 식물플랑크톤 군집구조와 물리, 화학적 환경요인을 연구하는 것이 중요하다 (Smayda, 1978; Lim et al., 2002).

재료 및 방법

통영주변해역의 식물플랑크톤 군집특성을 알기 위하여 2002년 *C. polykrikoides* 적조발생 전후를 집중하여 7월부터 9월까지 6개 조사정점을 설정하여 10번의 현장조사를 실시하였다 (Fig. 1).

수질조사는 수온, 염분 그리고 용존산소를 Water analyzer (YSI 6600)를 이용하여 현장에서 측정하였고, 영양염 (암모

*Corresponding author: kangys@nfrdi.re.kr

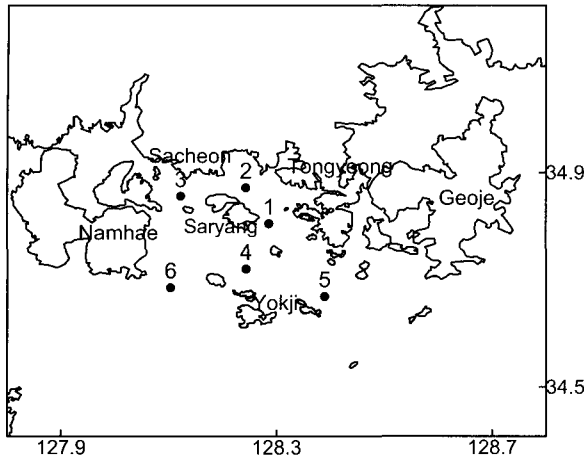


Fig. 1. A map of Tongyeong, Korea, showing location of sampling stations in 2002.

니아질소, 아질산질소, 질산질소, 인산인)은 현장에서 해수를 여과하여 냉장보관하여 실험실로 운반한 뒤 즉시 분석하였다 (Strickland and Parsons, 1972). 식물플랑크톤은 현장에서 *C. polykrikoides*의 개체수를 확인하고, 표층해수 1 L를 채수하여 Lugol용액으로 고정하였다. 고정된 해수는 실험실에서 침전시켜 최종농도가 20 mL가 되도록 농축하였다. 검정은 농축된 시료 0.1 mL를 취하여 Sedgewick Rafter counting chamber를 이용하여 광학현미경 (Olympus, BH-2)하에서 종의 동정과 단위체적당의 출현세포수를 산출하였다. 출현한 식물플랑크톤 종의 동정은 Yamaji (1984)와 Chihara (1997) 등을 참고하였다.

식물플랑크톤의 우점종은 총 출현개체수에 순위를 정하고, 총 개체수 중 한 정점 이상에서 20% 이상 출현한 종으로 하였다. 군집특성을 알기위해 종 다양성 (diversity)과 균등도 (evenness)는 각각 Shannon-Wiener index (Shannon and Wiener, 1963), Pielou index (Pielou, 1966)로 계산하였고 이때 정점은 1-4정점만을 계산하였다. 식물플랑크톤의 종조성을 군집별, 시기별, 정점별로 파악하기 위해 우점종으로 주성분분석 (Principal component analysis)을 실시하였다. 정점별로 유사성과 동질적인 집단을 분류하기 위하여 수질요인과 식물플랑크톤 개체수의 집괴분석 (Cluster analysis)을 실시하였다. 집괴분석은 Hierarchical cluster analysis로 제곱유클리디언거리지수 (Squares Euclidean Distances)를 이용하였다. 그리고 식물플랑크톤의 분포에 영향을 미치는 환경요인을 파악하기 위하여 수온, 염분, 투명도, 암모니아질소, 질산질소, 인산인, 식물플랑크톤개체수 등 7개 요인들의 상관계수행렬 (Correlation matrix)를 이용하여 주성분분석 (Principal Component Analysis)을 실시하였다. 모든 통계분석은 SPSS 7.5 (SPSS Co.) 프로그램을 이용하여 실시하였다.

결과 및 고찰

수질분포특성

2002년에는 7월초부터 태풍 “RAMMASUN”, “NAKRI”, “FENGSHEN”의 영향을 받았고, 8월 6일부터 8월 15일까지 10일간 집중강우로 인하여 통영연안에 482.5 mm의 비가 내렸다. 그리고 8월 30일부터는 태풍 “RUSA”의 영향으로 3일간 강풍과 함께 190 mm 가량의 비가 내렸다 (Fig. 2).

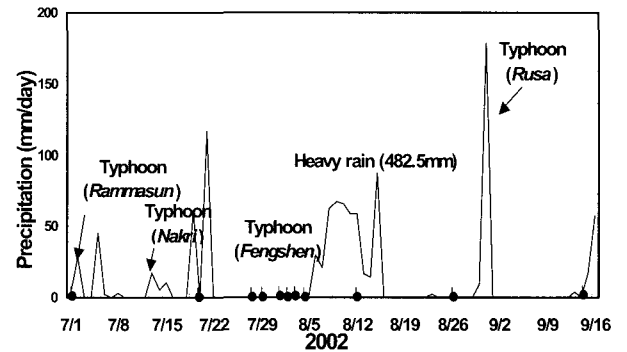


Fig. 2. Seasonal variation of precipitation and thypoon at Tongyeong, 2002 (Solid circles are survey date).

2002년도 적조는 남해안 여수 북돌바다에서 8월 2일 최초 발생하여 전년대비 2주 정도 조기발생하였고, 통영연안에서는 8월 4일 최초 발생하여 8월 9일 이후 고밀도로 확산되었다. 또한 적조는 9월초 강한 태풍 및 일사량 증가의 영향으로 소강과 확산을 반복하다가 9월 18일 이후 전해역에서 적조가 약화되어 9월 27일 적조주의보가 해제되었다 (Fig. 3). 2002년도 적조는 최장기간인 56일간 발생하였으며 집중강우 후 8월 18일에서 8월 28일까지 내만해역에서는 무해성규조적조, 외측수역은 유해성 *Cochlodinium* 적조가 발생하여 지금까지 *Cochlodinium* 적조발생기간에는 80% 이상이 *Cochlodinium* 만으로 우점한 단독종 적조인 것과는 다르게 혼합적조를 형성하였다.

수온은 표층 25.34℃까지 상승되었다가 8월 14일에 22.15℃까지 떨어졌으나 이후 다시 일사량의 증가로 인하여 8월 29일

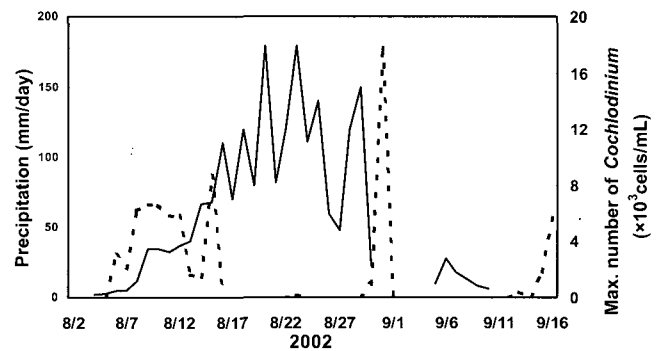


Fig. 3. Seasonal variation of *Cochlodinium* cell density in the season of red tide outbreak off the coast of Tongyeong, 2002 (solid line: cell density, dotted line: precipitation).

25.76°C까지 상승되었다 (Fig. 4). 염분은 7월초부터 8월초까지 수층별로 거의 균등한 31.58-31.74의 염분농도를 보이다가, 집중강우로 인하여 표층염분이 평균 28.73까지 떨어져서, 표·저층사이에 3 이상의 염분차이가 났다. 이후 8월 16일부터 8월 29일까지는 강우가 없었는데도 불구하고 계속 표·저층사이에 2.8의 높은 염분차를 보였다. 용존산소는 8월 29일에 9.97 mg/L로 매우 높은 값을 보였는데, 이는 집중강우로 인하여 영양염이 증가되어 식물플랑크톤의 생물학적 활동이 왕성하여 수중에 용존산소가 증가되었기 때문으로 사료된다.

암모니아는 적조발생초기인 8월 4일에 0.63 μM로 낮은 값을 보였다가 집중강우 후인 8월 14일에 표층농도 4.84 μM로 높은 값을 보였고, 이후 8월 29일에도 표·저층 모두 3.0 μM 이상의 높은 값을 보였으나, 9월 18일에는 표층 0.05 μM로 예년에 비해 매우 낮은 값을 보였다 (Fig. 5). 질산질소도 8월 중순의 집중강우로 인하여 표층 평균 10.10 μM로 매우 높아졌으나, 8월 29일에는 2.40 μM의 값으로 낮아졌다. 2002년의 경우 장기간의 집중강우로 인하여 육상기원물질의 대량유입과 저염분현상으로 인하여 적조 대량 증식시기에 용존무기질소가 감소한다는 예년의 결과와는 다른 결과를 얻었다 (Yang et al., 2000). 인산인은 적조발생초기인 8월초에는 표층보다 저층의 농도가 0.54-0.70 μM로 더 높았는데, 이는 7월 중순 이후 태풍의 영향으로 저층이 교란되어 저층으로부터 인산인이 많이 유출된 것으로 추측할 수 있다. 그러나 집중강우 후 표·저층의 농도차가 0.15 μM 정도로 낮아졌는데 이는 집중강우 및 태풍으로 표·저층수의 혼합 및 육수유입으로 인해 인산인

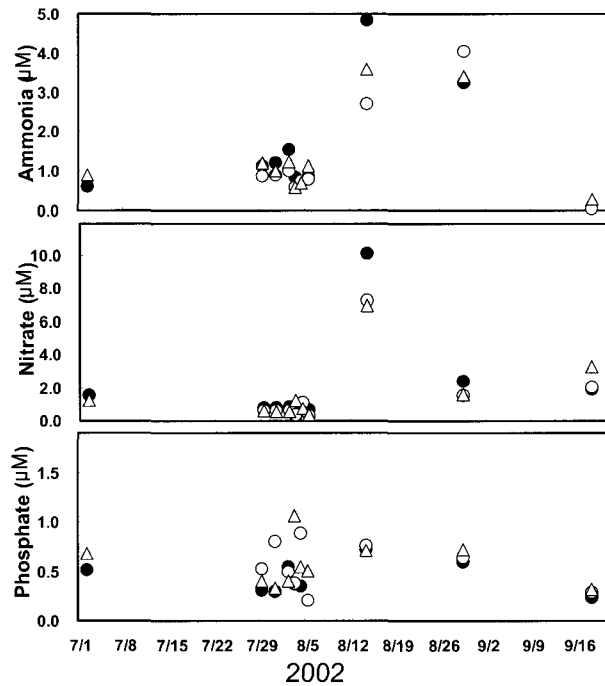


Fig. 5. Mean value of ammonia, nitrate and phosphate concentration in the coastal waters off Tongyeong, 2002 (●: surface layer, ○: middle layer, △: bottom layer).

이 유입된 것으로 생각된다. 식물플랑크톤 현존량은 영양염 농도 증가와 함께 증가하여 8월 14일에 최대값을 보였다가 이후 감소하였다.

식물플랑크톤의 현존량 및 종조성

식물플랑크톤의 정점별 현존량을 조사일자별로 규조류와 편모조류로 나누어 Fig. 6에 나타내었다. 일자별로 보면 총현존량은 조사정점별, 시기별로 많은 양의 차이를 보였다. 조사기간동안 식물플랑크톤의 종은 총 29속 48종이 동정되었는데 분류군별로는 규조류가 15속, 27종으로 전체의 51.8%를 점하였고, 다음으로 와편모조류로 11속 18종으로 38.0%, 그리고 규질편모조류로 2속, 2종으로 6.8%, 유글레나조류가 1속, 1종으로 3.4%를 점하였다 (Fig. 7). 남해연안의 식물플랑크톤 종수가 Park (1980)의 보고에서는 60종 이상이 나타났다고 보고하였으나 Lim et al. (1999)의 연구에서는 8-30종으로 매우 단순화되었다는 보고와 같이 본 논문에서도 48종이 출현하여 다른 해역의 결과와 비교하여 남해안의 식물플랑크톤 종수가 점차 단순화되어간다고 생각된다 (Shim et al., 1995; Shim and Yeo, 1988). 출현종수는 *C. polykrikoides* 적조 발생 전후로는 많았지만 적조발생기간 동안에는 현저하게 감소하는 경향을 보였다. 조사기간 중 규조류는 거의 모든 시기에 출현되는 반면, 편모조류는 일정 시기에 집중적으로 출현하는 경향이 있어 조사시기에 따라 많은 출현율의 차이를 보였다. 대부분의 정점에서 적조발생전에는 규조류가 편모조류에 비하여 90% 이상을 차지하였지만 적조가 본격적으

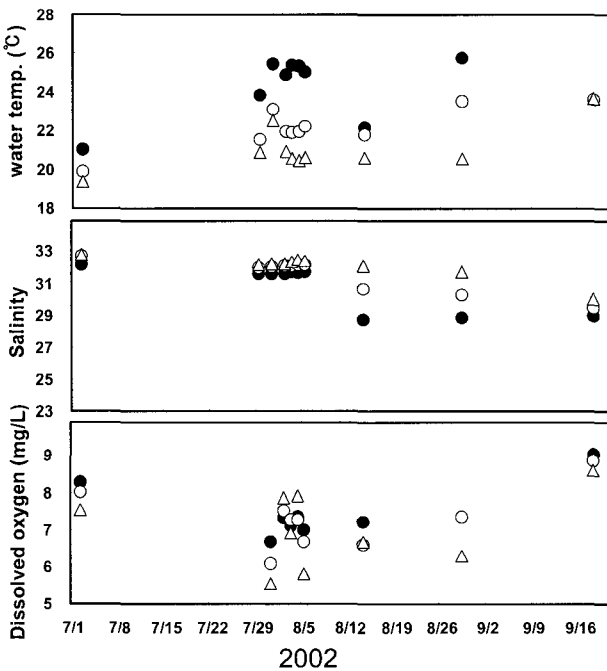


Fig. 4. Mean value of water temperature, salinity and dissolved oxygen in the coastal waters off Tongyeong, 2002 (●: surface layer, ○: middle layer, △: bottom layer).

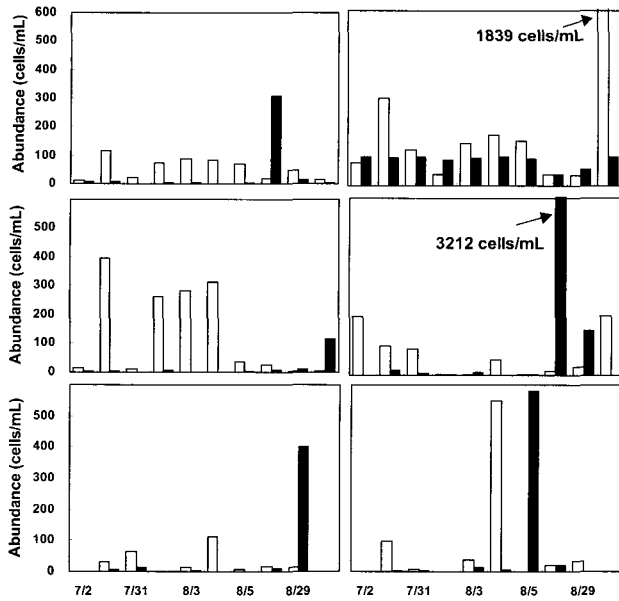


Fig. 6. Phytoplankton abundance in the coastal waters off Tongyeong, 2002 (□: diatom, ■: dinoflagellate).

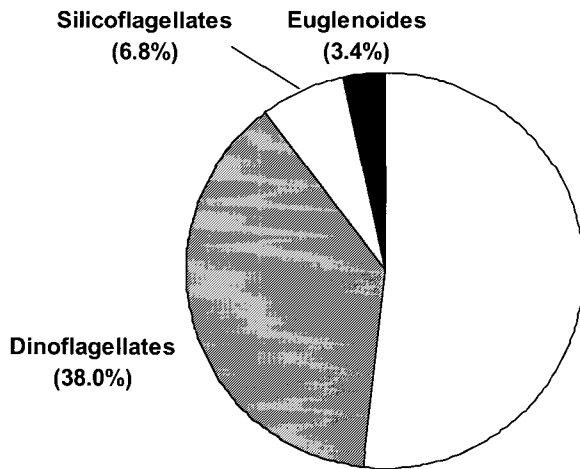


Fig. 7. Abundance of phytoplankton taxa appeared in the coastal waters off Tongyeong, 2002.

로 발생한 8월 5일에는 정점에 따라 71.43-100%를 차지하였으나, 8월 14일에 0.43-80.00%, 8월 29일에 3.61-75.00%로서 적조발생기간동안 규조류가 현저히 감소되는 경향을 보였으며, 8월 5일 이후 와편모조류 특히 *C. polykrikoides*의 양이 증가되었다. 그러나 예년에 *C. polykrikoides* 적조발생 기간동안에는 80% 이상이 *C. polykrikoides* 단독종이었으나 2002년에는 집중강우 후 내만해역에 규조적조가 발생하였다. 정점에 따라서는 규조류와 편모조류의 양이 현저한 차이를 나타냈는데 특히 정점 2의 경우 다른 정점에 비하여 적조발생전에도 편모조류의 양이 많았으며 적조발생기간에도 편모조류의 뚜렷한 양적 증가를 보이지 않았다. 8월 5일에는 정점 6에

서, 8월 14일에는 정점 1과 4, 8월 29일에는 정점 5에서 *C. polykrikoides*의 개체수가 높았는데, 이를 통해 각 조사시기와 정점에 따라 현존량 차이가 크을 알 수 있었다. 이후 9월 18일에는 대부분의 해역에서 적조가 소멸되었고 일부 정점에서만 *C. polykrikoides*가 나타났다.

식물플랑크톤의 종은 전 조사시간을 통해 규조류로는 *Chaetoceros* spp., *Nitzschia* spp., *Skeletonema costatum*, *Thalassionema nitzschioides* 등이 우점하였고, 적조발생 기간동안 대부분의 조사정점에서 *C. polykrikoides*가 출현하였으나, 일부 해역에서 *Alexandrium* spp.가 우점하였고, 다른 와편모조류들은 출현은 하였으나 우점종은 아니었다 (Table 1). *Chaetoceros* spp.는 정점별로 0-100%, *Nitzschia* spp. 0.98-65.6%, *Skeletonema costatum*, 0-57.9% 우점하였고 *C. polykrikoides*는 정점에 따라 0-100%로 우점하였다. *C. polykrikoides* 적조발생 기간중에도 규조류인 *Chaetoceros* spp., *Nitzschia* spp., *Skeletonema costatum*은 많은 정점에서 우점하였다. 우점종은 정점별로

Table 1. The dominant species of phytoplankton in the coastal waters off Tongyeong from July to September, 2002

Date	Dominant species	Dominance ratio (%)
2 July	<i>Chaetoceros</i> spp.	41.2-87.2
	<i>Skeletonema costatum</i>	10.1-23.5
29 July	<i>Chaetoceros</i> spp.	20.7-70.5
	<i>Skeletonema costatum</i>	243.6-43.7
31 July	<i>Chaetoceros</i> spp.	0-82.7
	<i>Coscinodiscus</i> spp.	0-31.6
	<i>Skeletonema costatum</i>	0-54.0
	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	0-33.3
2 August	<i>Chaetoceros</i> spp.	14.0-85.7
	<i>Navicula</i> spp.	0-22.2
	<i>Skeletonema costatum</i>	0-62.8
	<i>Chaetoceros</i> spp.	0-81.3
3 August	<i>Coscinodiscus</i> spp.	0-60.0
	<i>Leptocylindrus</i> spp.	0-22.2
	<i>Skeletonema costatum</i>	0-24.5
	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	0-72.7
4 August	<i>Chaetoceros</i> spp.	0.6-98.3
	<i>Skeletonema costatum</i>	0-97.8
5 August	<i>Chaetoceros</i> spp.	0-100.0
	<i>Leptocylindrus</i> spp.	0-42.9
	<i>Skeletonema costatum</i>	0-32.4
	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	0-100.0
	<i>Chaetoceros</i> spp.	0-33.3
14 August	<i>Skeletonema costatum</i>	0.3-46.7
	<i>Alexandrium</i> spp.	0.2-50.0
	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	0-99.2
	<i>Chaetoceros</i> spp.	1.1-26.6
29 August	<i>Nitzschia</i> spp.	0-32.8
	<i>Skeletonema costatum</i>	0-29.4
	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	0-95.2
	<i>Chaetoceros</i> spp.	2.4-57.3
18 September	<i>Nitzschia</i> spp.	1.0-65.6
	<i>Skeletonema costatum</i>	0-57.9
	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	0-77.6

많은 차이가 났으며 적조발생전에는 전해역에서 규조류가 우점하였고, 적조주발생기가 지난 후에는 종이 다양화되어 나타남을 알 수 있었다.

식물플랑크톤군집의 특성을 파악하기 위해 각 정점별, 조사 시기별 다양도지수 및 균등도 지수를 조사한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 다양도 지수는 조사일자별로 보면 정점 4를 제외한 모든 정점에서 적조발생직전인 8월 2일에 0.95-2.33으로 가장 높은 값을 보였다. 이는 하계 통영만에서 Ko (1999)가 연구한 0.7-1.3보다 높은 결과이다. 이후 적조가 통영에 최초 본격적으로 발생한 8월 4일에는 0.04-0.35로 가장 낮았다. 정점별로 보면 정점 3에서 0.06-2.33으로 가장 높은 값을 보였고, 정점 4에서 0.03-0.99로 가장 낮았다. 정점 4의 경우 다른 정점과는 다르게 8월 2일보다는 8월 3일에 0.99로 가장 높았고, 이후 8월 14일에 0.03으로 가장 낮았다. 정점 2와 3은 8월 4일에 0.04-0.06으로 매우 낮은 값을 보였다. 이를 통해 적조발생직전인 8월 2일에 다양한 식물플랑크톤 종조성을 보이다가, 8월 4일 적조가 발생되면서 종다양도가 낮아졌으며, 이는 이미 앞에서 언급한 결과 및 Raymont (1980)와 일치함을 나타내었다. 그리고 정점별로는 연안쪽인 정점 1, 2, 3, 특히, 연안수의 영향을 많이 받는 정점 3은 적조발생전후의 종 다양도 특성을 강하게 나타냈다.

균등도 지수도 조사일자별로 보면 정점 4를 제외한 모든 정점에서 대체로 8월 2일에 1.13-2.24로 높은 값을 보였고 이후 8월 4일에 0.09-0.54로 가장 낮은 값을 보였다. 정점별로는 정점 3에서 가장 높은 값을 보였으나 정점 4의 경우 다양도 지수와 동일하게 8월 3일에 0.58로 가장 높은 값을 보였다.

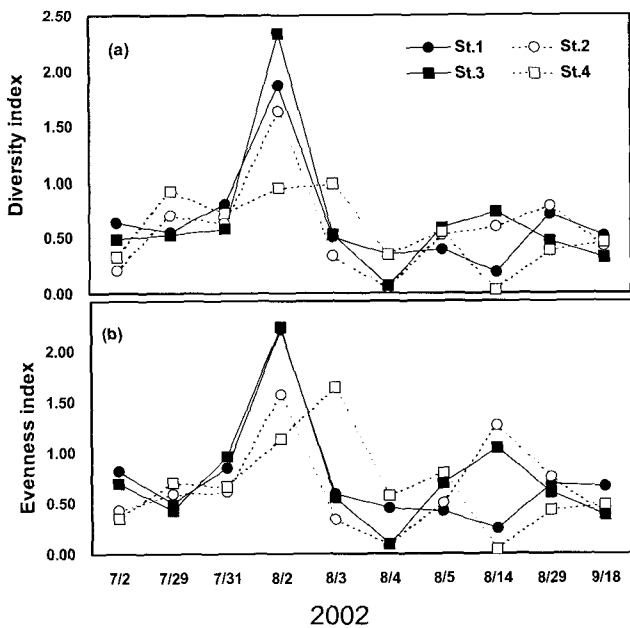


Fig. 8. Diversity index (a) and evenness index (b) of phytoplankton at the sampling stations (●: St. 1, ○: St. 2, ■: St. 3, □: St. 4).

정점 2와 3은 8월 4일에 0.09, 정점 4는 8월 14일에 0.05로 매우 낮은 값을 보였다.

식물플랑크톤의 군집변동

식물플랑크톤 우점종별로 주성분분석을 한 결과 요인 1, 2, 3이 각각 25.69, 24.29, 18.38%로 총변동량의 68.65%를 설명하였다 (Fig. 9). 요인 1에 대해 *Chaetoceros* spp., *Skeletonema costatum*이 강한 양의 상관, *Cochlodinium polykrikoides*, *Alexandrium* spp.는 강한 음의 상관을 가졌다. 이를 통해 규조류와 편모조류간에 상반되는 우점을 나타냄을 알 수 있다. 또한 조사일자와 정점별로 주성분분석을 한 결과 요인 1, 2가 46.94, 24.19%로 총변동량의 71.13%를 설명하였다. 육수의 영향을

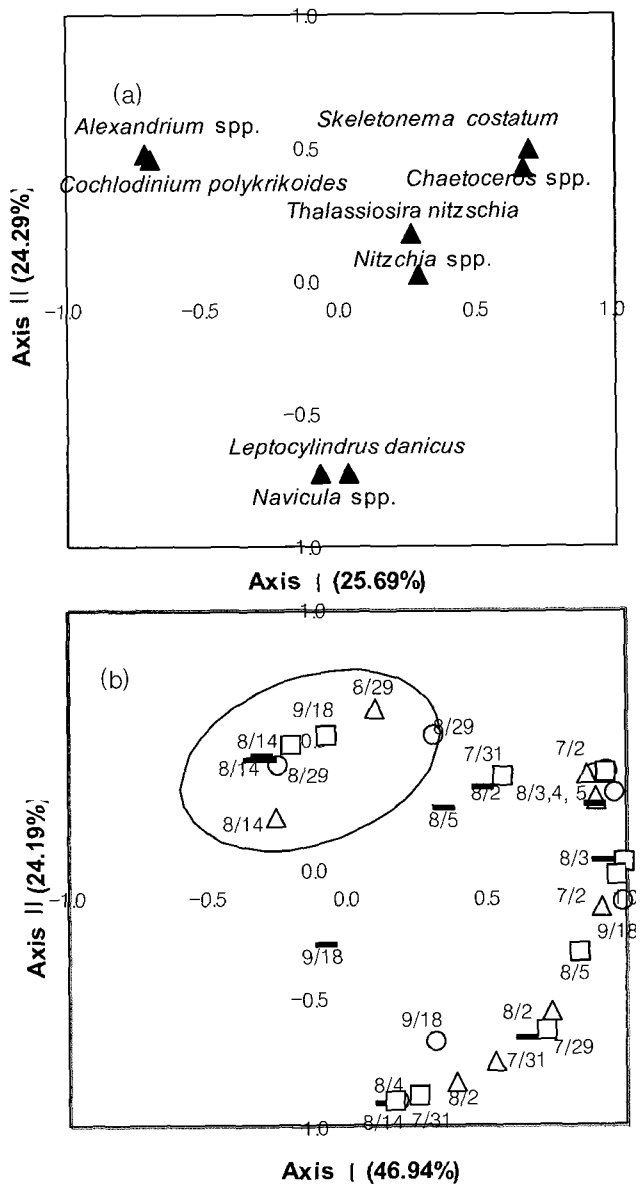


Fig. 9. Plot of the principal component analysis applied over (a) the species abundances, and (b) the sampling stations and period (○: St. 1, △: St. 2, □: St. 3, -: St. 4).

많이 받는 정점 3을 제외한 대부분의 정점에서 적조 주 발생시기인 8월 14일, 8월 29일에 비교적 음의 상관에 가까웠고, 그 외 시기와 정점은 대체적으로 양의 상관을 보였다. 적조 주발생기와 그외 시기와는 다른 우점을 나타냄을 알 수 있다. 이를 통해 2002년 통영주변해역의 식물플랑크톤은 적조 주발생기엔 *C. polykrikoides*, *Alexandrium* spp., 그리고 그 외의 시기에는 *Chaetoceros* spp., *Skeletonema costatum* 등 규조류의 군집으로 나눌 수 있다.

2002년 통영주변해역의 식물플랑크톤 중의 군집분석결과 뚜렷한 군집으로 나눌 수가 없었다. 이는 통영주변해역의 경우 하계에 식물플랑크톤이 정점에 따라 적조발생전후에는 몇 종의 규조류에 우점하고, 적조발생 중에는 거의 *C. polykrikoides*만이 우점하므로 나머지 종들이 우점하는 2-3종에 의해 군집별로 나눌 수가 없기 때문이다. 따라서 2002년도에는 잦은 태풍과 집중강우로 인한 수층의 잦은 교란 등의 해양 특성으로 식물플랑크톤의 종조성변동과 수질변동을 일괄적으로 해석하는 것이 적합하며, 이는 2002년 통영주변해역의 적조발생전후 식물플랑크톤군집의 특색으로 생각된다.

수질환경과 식물플랑크톤의 변동

수질환경 및 식물플랑크톤양 등을 분석하여 적조발생기의 변동요인을 알아보기 위해 수질항목을 평균하여 일자별로 PCA분석을 한 결과 요인 1, 2, 3이 각각 63.07, 13.64, 12.62%로 총변동량의 89.32%를 설명하고 있었다 (Fig. 10). 특히 요인 1은 염분과 높은 음의 상관을 보이고, 암모니아, 질산질소, 아질산질소, 인산인, 식물플랑크톤 양과 높은 양의 상관을 보였다. 이를 통해 하계에 강우와 이로 인해 육상으로부터 담수유입이 됨에 따라 영양염의 농도가 증가되고, 또한 식물플랑크톤의 양도 증가됨을 알 수 있다. 그리고 식물플랑크톤의 양을 규조류와 편모조류만을 나누어 분석한 결과를 보면,

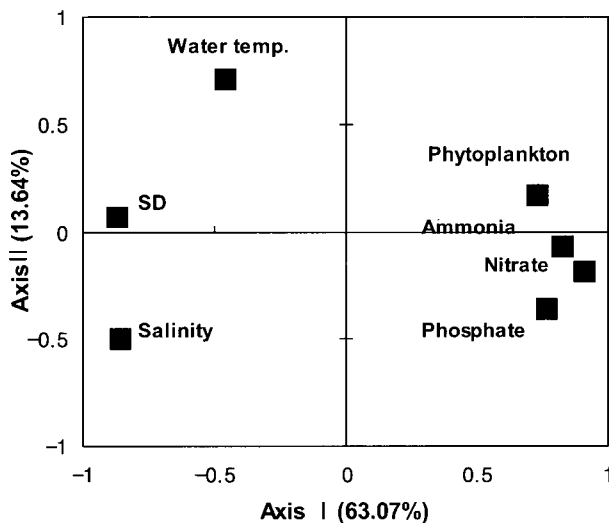


Fig. 10. Distributions of factor loading by PCA for water quality 1st and 2nd component.

규조류만을 분석했을 때는 정반대의 결과를, 편모조류만을 분석했을 때는 동일한 결과를 얻었다. 부영양화와 *C. polykrikoides* 적조가 음의 상관관계를 나타내고 있다는 결과와는 상반된 보고 (Gu and Lee, 2002)가 있으며, 적조발생전의 규조류의 농도에 비해, 적조발생기에 *C. polykrikoides*의 농도가 훨씬 높았고, 이 시기에 집중강우로 영양염의 농도가 높아 예년의 결과와 다른 차이기 있었으나 이같은 현상은 2002년의 해양적 특성에 기인되는 것으로 생각된다 (Lim et al., 2003). 요인 2는 하계에 기상이 전체 변동에 많은 영향을 미침을 알 수 있었다.

정점별 군집분석한 결과 군집 I은 정점 1, 2, 3, 군집 II는 정점 4, 5, 6으로 수질 및 식물플랑크톤양적 변동의 특징은 크게 연안측과 외해측으로 나누어짐을 알 수 있었다 (Fig. 11).

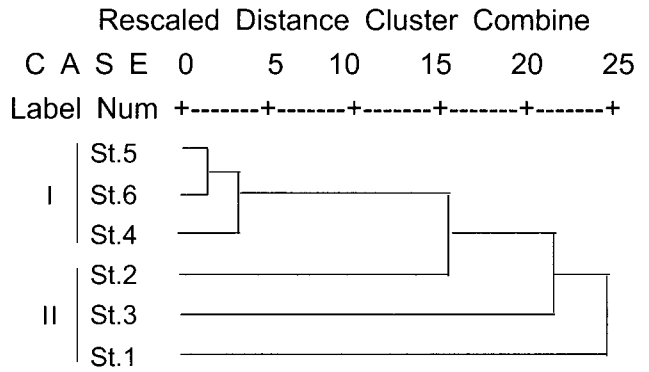


Fig. 11. Dendrogram using average linkage (with station) of hierarchical cluster analysis of sampling stations.

참 고 문 헌

Chihara, M. and M. Murano. 1997. An illustrated guide to marine plankton in Japan, Tokai Univ. Press, Tokyo, pp. 1-262.

Gu, J.S. and D.S. Lee. 2002. Relationship of *Cochlodinium* blooms and Eutrophication. Proceedings of the autumn meeting, 2002 of the Korean Soc. of Oceano. November, pp. 121.

Jung, C.S., W.J. Choi, H.G. Kim, Y.G. Jung, J.B. Kim and W.A. Lim. 1999. Interrelation between *Cochlodinium polykrikoides* blooms and community structure of zooplankton in the coastal waters around Namhaedo in the south sea of Korea, 1998. Bull. Nat'l. Fish. Re. Dev. Inst. Korea, 57, 153-161. (in Korean)

Kim, H.G., C.S. Jung, W.A. Lim, C.K. Lee, S.H. Kim, S.H. Youn, Y.C. Cho and S.K. Lee, 2001. The spatio-temporal progress of *Cochlodinium polykrikoides* blooms in the coastal waters of Korea, J. Kor. Fish. Soc., 34(6), 691-696. (in Korean)

- Ko, T.H. 1999. Dynamics of phytoplankton community in the Tongyoung Bay, Korea during the summer of 1998. MS. Thesis, Pusan Nat'l. Univ., pp. 30-32. (in Korean)
- Lee, J.M., W.C. Lee and S.E. Park. 1994. Studies on the environment of finfish farming area. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 115, 1-12. (in Korean)
- Lim, W.A., C.K. Kang, S.Y. Kim, S.G. Lee, H.G. Kim and I.K. Chung. 2003. Short-term changes of community structure of phytoplankton in summer around Namhae Island of Korea. *Algae*, 18(1), 49-58. (in Korean)
- Lim, W.A., C.S. Jung, C.K. Lee, Y.C. Cho, S.G. Lee, H.G. Kim and I.K. Chung. 2002. The outbreak, maintenance, and decline of the red tide dominated by *Cochlodinium polykrikoides* in the coastal waters off Southern Korea from August to October, 2000., 「The Sea」, J. Kor. Soc. Oceanogr., 7(2), 69-77.
- Lim, W.A., W.J. Choi, Y.C. Park and K.H. Eom. 1999. Species composition and abundance of phytoplankton and marine bacteria during a *Cochlodinium* bloom in Tongyong. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea 57, 145-151. (in Korean)
- Moon, T.S., H.S. Choi and S.L. Lee. 1992. Studies on the environment of finfish farming area in Tongyong, 1989 to 1990. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea, 96, 97-118. (in Korean)
- Park, H.S., J.W. Choi and H.G. Lee. 2000. Community structure of macrobenthic fauna under marine fish culture cages near Tongyong, Southern Coast of Korea, J. Kor. Fish. Soc., 33(1), 1-8. (in Korean)
- Park, J.S. 1980. Studies on seasonal changes in population and species composition of phytoplankton and their effects on oysters and local fishery resources as food organism and as a cause of red tide in the south coast of Korea. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Agency, 23, 7-169. (in Korean)
- Park, J.S., H.G. Kim and S.G. Lee, 1988. Red tide occurrence and succession of its causative organisms in Jinhae Bay. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Agency, 46, 1-26. (in Korean)
- Pielou, E.M. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collection. J. Theoret. Biol., 13, 131-144.
- Raymont, J.E.G. 1980. Plankton and productivity in the oceans. Vol. 1. Phytoplankton. Pergamon Press, Oxford, pp. 489.
- Shannon, C.E. and W. Wiener. 1963. The Mathematical Theory of Communication. Univ. of Illinois Press, Urbana, pp. 125.
- Shim, J.H. and H.G. Yeo. 1988. Spatial and temporal variations of phytoplankton in Chonsu Bay, J. Oceanol. Soc. Kor., 23(3), 130-145.
- Shim, J.H., H.G. Yeo and J.G. Park. 1995. Primary production system in the southern waters of the East Sea, Korea. II. The structure of phytoplankton community, J. Oceanol. Soc. Kor., 30(3), 163-169.
- Smayda, T.J. 1978. Biogeographical meaning; indicators. In: Phytoplankton manual. A. Sournia, ed. UNESCO., pp. 225-229.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada, pp. 310.
- Yamaji, I. 1984. Illustration of the Marine Plankton of Japan. 3rd ed. Hoikushm Pub. Co., pp. 158.
- Yang, J.S., H.Y. Choi, H.J. Jeong, J.Y. Jeong and J.K. Park. 2000. The outbreak of red tides in the coastal waters off Kohung, Chonnam, Korea. 1. Physical and chemical characteristics in 1997. 「The Sea」, J. Kor. Soc. Oceanogr., 5(1), 16-26.

2003년 3월 19일 접수

2003년 10월 21일 수리