

## 득량만의 수질과 식물플랑크톤 적조

이진환 · 이은호

(상명대학교 자연과학대학 생물학과)

**적 요** - 본 연구는 1998년 7월부터 9월까지 득량만 19개 정점 표층에서 수질, 식물플랑크톤 군집의 구조와 동태 및 적조의 특징을 규명하였다. 조사기간 중 월별 평균 수온은 24.0~28.6°C, 염분은 25.0~28.6‰로 월별 및 정점간 변이가 컸다. 본 해역의 Chlorophyll-*a*의 농도는 7월과 8월에 평균 11.59 mg/m<sup>3</sup>, 7.52 mg/m<sup>3</sup>를 나타내어 일차생산이 높았으며, 9월의 수질은 부영양화 단계에 있었다. 조사기간 중 출현한 식물플랑크톤군집은 돌말류가 89종류, 와편모조류가 19종류, 규질편모조류가 3종류 등 총 111분류군이였다. 식물플랑크톤 현존량은 최저 1.3×10<sup>4</sup> cells/l (9월, 정점 17)에서 최고 3.8×10<sup>6</sup> cells/l (7월, 정점 10)까지 변화하였다. 7월에는 거의 전 해역에서 황갈색의 적조가 발생되었고, 평균 현존량 1.8×10<sup>6</sup> cells/l을 보였으며 이때 적조원인종은 *Prorocentrum minimum*, *Chaetoceros curvisetus*, *Ceratium furca*, *Thalassiosira* sp. 등 이었으며, 만의 상부에서는 *P. minimum*, 만의 중앙부와 만 입구에서는 *Ch. curvisetus*, 녹동항 주변에서는 *C. furca*와 *Thalassiosira* sp.에 의해 적조가 각각 발생되었다. 본 해역에서 질소와 같은 영양염류의 분포는 만의 상부와 녹동항 주변에서 높았고, 적조발생시 수온 23.8~29.7°C 그리고 염분 23.1~27.0‰였다.

### 서 론

해양생태계에서 식물플랑크톤은 1차 생산자로서 먹이 연쇄상 수산생물의 먹이와 물질생산의 중요한 위치를 차지하고 있다. 또한 해양생태계에서 물리·화학적 환경의 특징과 더불어 식물플랑크톤 군집의 동태는 수괴의 특징을 파악할 수 있을 뿐만 아니라 생산구조를 밝힐 수 있어 가장 기본적인 연구분야이다.

본 연구해역인 득량만은 남해안의 고흥반도 서쪽 전남 장흥군과 보성군에 둘러싸여 있으며 길이가 남서에서 북동방향으로 약 50 km, 동서방향의 폭 4.6~11 km로 되어있고 평균 수심 7.5 m로 만의 입구에서 안쪽으로 갈수록 점점 좁아지는 전형적인 반폐쇄적인 형태를 지니고 있다. 또한 해저는 잘 발달된 사니질로 형성되어 연안어업이나 양식업(꼬막, 새꼬막 등의 어패류)에 알맞는 환경이나, 외해수와의 순환이 제한적이어서 어장의 노후화와 주변 인접도시로 부터 하천을 통해 유입되는 오·폐수에 의한 오염으로 해양환경이 날로 악화되어 적조 다발해역으로 알려져 있다.

득량만에 있어서 기존의 식물플랑크톤에 대한 연구는 계절적 국지적 연구가 일부 있었고(허 등 1981), 패류양

식장의 환경을 조사하면서 부영양화에 관하여 언급하였다(Cho et al. 1982). 이와 허(1983)는 식물플랑크톤과 적조발생에 관한 연구를 수행하였으며, 이 등(1996)은 남해안일대의 식물플랑크톤 및 적조를 조사하면서 부분적으로 이 해역을 포함시켰다.

본 연구의 목적은 하계 및 추계에 있어서 득량만의 환경학적 연구의 일환으로 수질, Chlorophyll-*a*, 식물플랑크톤 군집의 구조와 동태 및 적조의 특징을 규명하는 것이다.

### 재료 및 방법

#### 1. 조사일시 및 정점

1998년 7월 8일, 8월 13일 및 9월 26일 3회에 걸쳐 득량만에서 만조시 19개 정점을 설정하여 표층수를 채수하였다(Fig. 1). 정점의 설정은 만 북단의 우도(牛島)를 중심으로 정점 1, 2, 3을, 정점 4~9는 우도 남쪽으로 부터 득량도(得糧島)까지 약 4 km 간격의 일직선상에, 정점 10~18은 득량도와 소록도 사이에 사방 4 km 격자형식으로, 그리고 정점 19는 대조 정점으로서 금당도(金塘島)와 연홍도(蓮洪島) 사이에 각각 설정하였다.

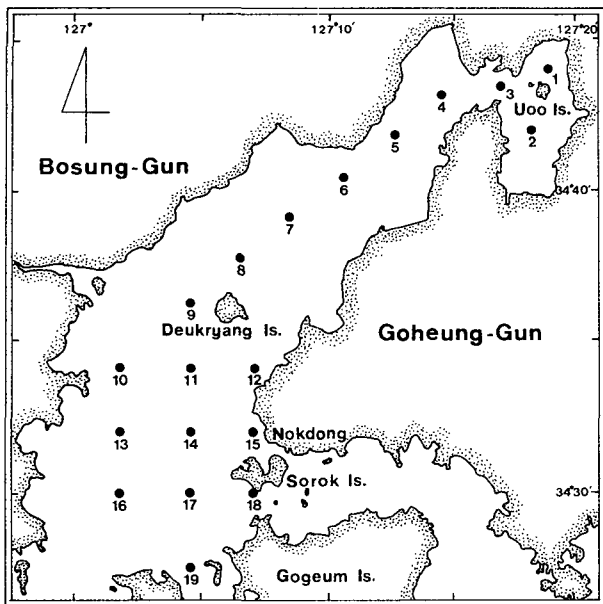


Fig. 1. A map showing the sampling stations in Deukryang Bay.

## 2. 수 질

수질환경 조사로 수온과 염분은 7월, 8월, 9월 3회에 걸쳐, 수소이온농도, 투명도, 화학적산소요구량, 부유물질, 영양염류(질산염-질소, 아질산염-질소, 암모니아성-질소, 인산염-인, 규산염-규소) 등은 9월 1회에 걸쳐 각각 조사하였다. 수온은 선상에서 DO meter (YSI 58)로 측정 한 후 즉시 0.1°C 봉상 수온온도계로 보정하였으며, 염분은 Salinometer (YSI 33)로, 수소이온농도는 pH meter (Jenway 3050)로, 투명도는 직경 30 cm의 Secchi disc로 선상에서 각각 측정하였다. 화학적산소요구량은 시수를 KMnO<sub>4</sub> 용액으로 산화시킨 후 10% KI 용액을 가하고 유리된 요오드를 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 역 적정하였다. 부유물질의 양은 사전에 여과지 (pore size: 0.45 μm, diameter: 47 mm)를 건조시켜 무게를 측정하고 시수 1l를 여과하여 105°C의 건조기에서 24시간 동안 건조시킨 후 건조 중량을 0.1mg까지 측정하여 최초 여과지의 무게를 뺀 값으로 하였다. 질산염-질소 (NO<sub>3</sub>-N), 아질산염-질소 (NO<sub>2</sub>-N), 암모니아성 질소 (NH<sub>3</sub>-N), 인산염-인 (PO<sub>4</sub>-P), 규산염-규소 (SiO<sub>2</sub>-Si) 등의 영양염류는 Strickland & Parsons (1972)의 분석방법을 따랐다.

## 3. Chlorophyll-a

Chlorophyll-a는 7월과 8월에 정해진 정점에서 시료 1l를 진공여과기로 여과지 (pore size: 0.45 μm, diameter: 47 mm)를 이용하여 여과하였으며 아이스상자에 보관하

여 즉시 실험실로 운반하였다. 실험실에서는 여과지에 여과한 색소를 냉암소에서 90% acetone 용액으로 24시간 추출시킨 후 원심분리기 (Beckman GS-6)로 10분간 5,000 rpm에서 원심분리 시킨다음 상등액을 630 nm, 647 nm, 664 nm 및 750 nm에서 흡광도를 측정하여 UNESCO/SCOR (1966)법에 의해 최종 양을 환산하였다.

## 4. 식물플랑크톤

식물플랑크톤의 조사는 7월, 8월, 9월에 정해진 정점에서 시수 1l를 채수하여 중성 포르말린으로 고정한 후 실험실로 운반하였다. 실험실에서는 침전법에 의해 150~200 ml로 농축하여 공시재료로 하였다. 정량분석은 농축된 시료를 희석병에서 균일하게 희석한 후 1ml를 취하여 Sedgwick Rafter 계수판에 넣고 광학현미경 (Nikon 115) 100배하에서 3회 계수한 후 평균치를 단위 체적당 세포수로 환산하여 식물플랑크톤 현존량으로 하였다. 정성분석은 농축된 시료를 적당량 slide glass위에 놓고 100~1,000배 하에서 검경·동정하였다. 한편, 득량만 생태계의 기능을 파악하기 위하여 식물플랑크톤 군집의 풍부도 지수, 종다양성 지수, 균등도 지수, 우점도 등을 각각 구하였다 (Sorensen 1948; Margalef 1958; Shannon & Weaver 1949; Lloyd & Ghelardi 1964; Pielou 1966; McNaughton 1968).

## 결 과

### 1. 수질의 이화학적 특징

**수온** : 조사기간 중 수온은 최저 23.8°C (7월, 정점 13; 9월, 정점 9, 17~19)에서 최고 29.7°C (7월, 정점 1)까지 변화하고 있었으며, 평균 수온은 26.0°C로 월별·정점별 변화폭이 그리 크지 않았다. 월별 수온의 분포 범위는 7월에 23.8~29.7°C (평균 25.9°C), 8월에 26.7~29.4°C (평균 28.1°C) 그리고 9월에 23.8~24.5°C (평균 24.0°C)로 여름철에서 가을철로 접어들면서 수온이 점차 내려가고 있었다.

**염분** : 조사기간 중 염분농도는 최저 23.1‰ (7월, 정점 3, 4)에서 최고 29.6‰ (9월, 정점 11)까지 비교적 낮은 값을 나타내고 있었으며, 평균 26.6‰로 월별·정점별 변화폭은 비교적 컸다. 월별 염분의 분포 범위는 7월에 23.1~27.0‰ (평균 25.0‰), 8월에 23.8~28.0‰ (평균 26.3‰) 그리고 9월에 26.0~29.6‰ (평균 28.6‰)로서 장마가 계속되었던 여름철에서 가을철로 접어들면서 염분농도가 점차 높아졌다.

**수소이온 농도** : 수소이온 농도는 최저 8.01 (정점 4)

에서 최고 8.30(정점 5, 6, 12)까지로 정점간 최저·최고 변화폭이 0.29로 거의 균일하였으며 평균 8.23이었다.

**투명도** : 투명도는 최저 2.0 m(정점 10)에서 최고 3.2 m(정점 13)까지 평균 2.7m였다.

**부유물질** : 부유물질의 농도는 최저 20.00 mg/l(정점 8)에서 최고 36.67 mg/l(정점 5)까지 26.57 mg/l로 변화폭이 그리 크지 않았다. 정점별 변화는 정점 4~7에서 30.00~36.67 mg/l로 약간 높았고, 그 외의 정점에서는 20.00~26.99 mg/l사이의 값을 나타내었다.

**화학적산소요구량** : 화학적산소요구량은 최저 0.48 mgO<sub>2</sub>/l(정점 4)에서 최고 1.18 mgO<sub>2</sub>/l(정점 15)까지 평균 0.75 mgO<sub>2</sub>/l이었다. 정점별로 보면 정점 5와 15에서 1.00 mgO<sub>2</sub>/l 이상의 값을 나타낸 반면 나머지 정점에서는 그 이하였다.

**아질산염-질소** : 9월의 아질산염-질소의 농도는 최저 0.02 μM/l(정점 9)에서 최고 0.26 μM/l(정점 4)까지 평균 0.09 μM/l로 나타났다. 정점별 농도의 변화는 만 상부에 위치한 정점 4, 5와 대조정점 부근인 15~19에서는 0.10~0.30 μM/l로 상대적으로 높은 값을 보였고, 그 외의 정점 6~14에서는 0.02~0.09 μM/l의 낮은 값을 나타냈다.

**질산염-질소** : 9월의 질산염-질소 농도는 최저 0.07 μM/l(정점 8, 9)에서 최고 1.09(정점 5)까지 평균 0.47 μM/l였다. 정점별 분포는 아질산염-질소와 마찬가지로 만의 상부인 정점 4, 5와 녹동항 주변 정점인 12 그리고 대조정점 주변인 정점 15~19에서 0.51~1.09 μM/l의 비교적 높은 값을 나타냈다.

**암모니아성-질소** : 암모니아성-질소 농도는 최저 1.04 μM/l(정점 11)에서 최고 5.17 μM/l(정점 5)까지로 평균 2.30 μM/l였다. 정점별 농도차이를 보면 정점 4, 5, 10에서는 3.53~5.17 μM/l로 비교적 높은 농도를 나타냈으나 그 외 정점들은 1.04~2.54 μM/l의 범위였다.

**인산염-인** : 인산염-인의 농도는 최저 0.27 μM/l(정점 16, 18)에서 최고 0.89 μM/l(정점 5)까지 평균 0.47 μM/l로 변화폭이 비교적 좁았다. 정점별 변화 경향은 정점 4와 5에서 0.87과 0.89 μM/l로 약간 높은 값을 보였으나 그 외 정점에서는 모두 0.80 μM/l 이하였다. 즉 만의 상부에서 높은 농도를 보인 반면 중앙부와 대조정점 주변 대부분의 정점에서는 비슷하게 낮은 값을 나타내었다.

**규산염-규소** : 규산염-규소의 농도는 최저 5.21 μM/l(정점 11)에서 최고 68.55 μM/l(정점 14)까지 변화폭이 매우 컸으며 월등히 높은 값을 나타낸 정점 14를 제외한 나머지 정점의 평균은 9.46 μM/l로서 정점간 차이가 컸다. 정점별 변화는 정점 14에서 68.55 μM/l를 보여 특이하게 높았으며, 정점 4~6과 10에서 10.51~17.86

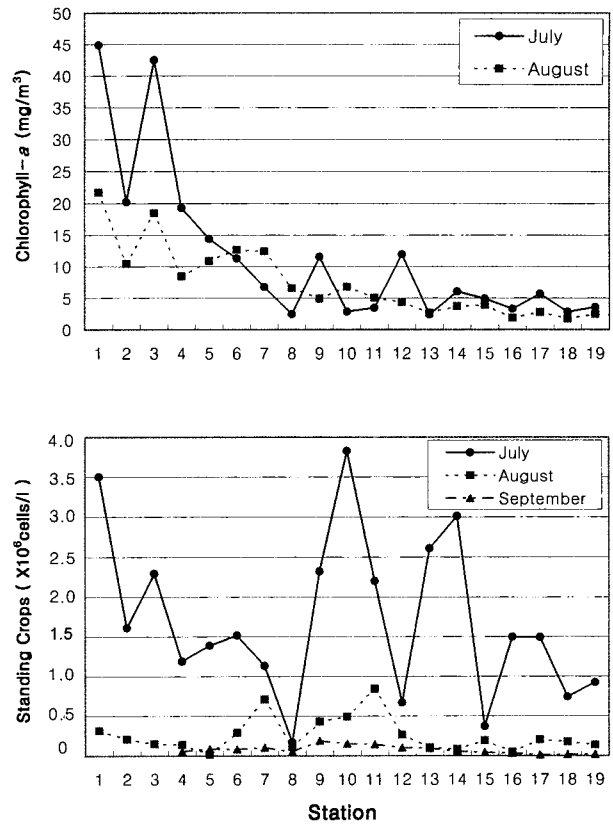


Fig. 2. Monthly variation of chlorophyll-a (upper) and standing crops of phytoplankton (lower) in Deukryang Bay from July to September 1998.

μM/l로 비교적 높은 값을 보였다. 그 이외의 정점에서는 10.00 μM/l 이하로 낮은 값을 나타냈다. 즉 만의 상부에서는 높은 농도를 보인 반면 그외 대부분의 정점에서는 비슷한 값을 나타내었다.

2. Chlorophyll-a의 농도

Chlorophyll-a의 농도는 최저 1.72 mg/m<sup>3</sup>(8월, 정점 18)에서 최고 44.90 mg/m<sup>3</sup>(7월, 정점 1)까지 변화폭이 매우 컸으며 평균 9.52 mg/m<sup>3</sup>이었다. 7월에는 만의 입구인 정점 13에서 대조정점까지 2.37~6.02 mg/m<sup>3</sup>로 낮은 농도이었으나, 만 중앙부인 정점 9와 12에서는 11.56~11.95 mg/m<sup>3</sup>로 약간 높아졌고, 정점 4~6에서는 더욱 높은 11.30~19.31 mg/m<sup>3</sup>를 나타내어 정점간 차이가 뚜렷하였다(Fig. 2). 특히 만 내부인 우도(牛島)를 중심으로 한 정점 1, 2, 3에서는 각각 44.90 mg/m<sup>3</sup>, 20.21 mg/m<sup>3</sup>, 42.53 mg/m<sup>3</sup>의 높은 값을 나타내었다. 8월에도 우도 주변해역에서 높은 농도를 보였고, 우도 입구와 득랑도 사이에서(정점 5~7) 그 다음으로 높은 농도를 그리고 대조정점 주변에서(정점 16~19) 낮은 값을 보여 정점간

변화 경향이 뚜렷하였다.

### 3. 식물플랑크톤

**종조성** : 본 해역에서 출현한 식물플랑크톤 군집은 총 2문 3강 7목 5아목 17과 37속 111종으로 이중 돌말류가 89종류(31속 81종 1변종 1품종 6미동정종), 와편모조류 19종류(5속 17종 1품종 1미동정종) 그리고 규질편모조류 3종류(1속 1종 2변종)로 구성 비율은 돌말류가 전체의 80.2%, 와편모조류 17.1%, 규질편모조류 2.7%를 각각 차지하고 있었다. 본 조사에서 19개 정점 중 80% 이상인 15개 정점에서 출현하는 종류는 7월에 *Bacteriastrium delicatulum*, *Ceratium furca*, *Chaetoceros curvisetus*, *Ch. decipiens*, *Dictyocha fibula* 등 5종류, 8월에 *Ceratium fusus*, *Ch. curvisetus*, *Ch. decipiens*, *Ch. pelagicus*, *Cylindrotheca closterium* 등 4종류 그리고 9월에는 *Ch. compressus*, *Dactyliosolen fragilissima*, *Pseudonitzschia seriata*, *Rhizosolenia hebetata* f. *semispina*, *Thalassiosira frauenfeldii* 등 5종류로 출현빈도로 보았을 때 이들이 본 해역의 대표종이라 판단된다. 식물플랑크톤의 출현종수는 최저 6종류(8월, 정점 1)에서 최고 32종류(8월, 정점 17)까지 변화폭이 매우 컸다. 한편 월별 평균 출현종수는 7월, 8월, 9월 각각 17, 18, 23종류로 여름철에 단조로운 종조성을 보이다가 가을철로 접어들면서 종조성이 다양해지고 있었다.

**현존량** : 조사기간 중 식물플랑크톤 현존량은 최저  $1.3 \times 10^4$  cells/l (9월, 정점 17)에서 최고  $3.8 \times 10^6$  cells/l (7월, 정점 10)까지 평균  $7.1 \times 10^5$  cells/l로 월별·정점별 변화폭이 매우 컸다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 7월에는 최저  $3.7 \times 10^5$  cells/l (정점 15)에서 최고  $3.8 \times 10^6$  cells/l (정점 10)까지, 8월에는 최저  $4.8 \times 10^4$  cells/l (정점 16)에서 최고  $8.4 \times 10^5$  cells/l (정점 11)까지 그리고 9월에 최저  $1.3 \times 10^4$  cells/l (정점 17)에서 최고  $1.9 \times 10^5$  cells/l (정점 9)까지 변화하고 있었다. 특히 7월의 현존량은 평균  $1.8 \times 10^6$  cells/l로서 거의 전 해역에서 수색이 변하는 대발생이 일어났다.

**우점종** : 7월에 본 해역의 정점별 우점종은 *Bacteriastrium delicatulum*, *Chaetoceros curvisetus*, *Ch. debilis*, *Ch. decipiens*, *Ch. socialis*, *Eucampia zodiacus*, *Thalassiosira* sp., *Ceratium furca*, *Prorocentrum minimum* 등 9종류였다. 제 1우점종의 정점별 변화를 보면 정점 1~5에서 *P. minimum*이 40.8~79.3%를 차지하였으며, 정점 7~11, 13, 15~18에서는 *Ch. curvisetus*가 38.0~82.1%를 우점하였고, 정점 19에서는 *Ch. debilis*가 51.6%를 차지하였다. 제 2우점종은 정점별로 매우 다양하였다. 8월에 정점별 우점종은 *Ch. affinis*, *Ch. curvisetus*, *Ch.*

*decipiens*, *Ch. pelagicus*, *Cylindrotheca closterium*, *Thalassiosira nitzschoides*, *Thalassiosira grvida*, *Thalassiosira* sp. 등 8종류였다. 정점별 제 1우점종은 정점 1~2, 4~8에서 *Thalassiosira* sp.가 28.1~56.0%를, 정점 10~15에서는 *Ch. curvisetus*가 19.3~43.4%를, 정점 17~19에서는 *T. nitzschoides*가 18.0~31.0%를 우점하고 있었다. 9월에는 *Bacillaria paxillifer*, *B. delicatulum*, *Ch. compressus*, *Ch. curvisetus*, *Dactyliosolen fragilissima*, *Guinardia delicatulum*, *Lauderia annulata*, *P. seriata*, *Rhizosolenia setigera*, *Skeletonema costatum* 등 10종류가 정점별 우점종이었다. 제 1우점종의 정점별 변화는 정점 4, 6에서 *L. annulata*가 28.1~29.7%를, 정점 5, 8, 9에서는 *P. seriata*가 16.7~22.0%를, 정점 7, 17, 18에서는 *Ch. compressus*가 17.0~31.0%를, 정점 10, 11, 13~15, 19에서는 *D. fragilissima*가 21.9~43.1%를 우점하고 있었다.

**생태지수** : 종다양성 지수는 최저 0.8438 (7월, 정점 1)에서 최고 3.0681 (8월, 정점 17)까지 변화폭이 매우 컸다. 월별 평균값을 보면 7월에는 1.5204, 8월에는 2.1369, 9월에는 2.3706으로 7월의 적조발생이 끝나고 가을로 접어들면서 출현종수가 다양해져서 종다양성 지수도 증가하는 것으로 나타났다. 균등성 지수는 최저 0.2950 (7월, 정점 9)에서 최고 0.9198 (9월, 정점 16)까지 변화하여 비교적 낮은 값을 나타내었다. 월별로 보면 7월 0.5233, 8월에 0.7594 그리고 9월에 0.7653으로 여름철에서 가을철로 갈수록 균등성 지수가 증가되고 있었다. 풍부도 지수는 최저 0.3947 (8월, 정점 1)에서 최고 5.5099 (9월, 정점 8)까지 변화하여 변화폭이 비교적 컸다. 월별 평균 풍부도 지수는 7월 1.1375, 8월 1.4042 그리고 9월에 2.1528로 역시 대발생이 있었던 여름철에서 가을철로 갈수록 식물플랑크톤 현존량은 감소하고 출현종수는 증가하여 풍부도 지수가 점차 증가하였다.

### 4. 적조발생

본 해역에서 7월의 적조현상은 *Prorocentrum minimum*, *Chaetoceros curvisetus*, *Ceratium furca*, *Thalassiosira* sp. 등 4종류에 의해 발생되었다 (Table 1). 즉 적조원인 종이 정점별로 차이가 있어 만의 상부인 정점 1~5에서는 *P. minimum*에 의하여, 만의 중앙부와 만 입구인 정점 7~13, 16~17에서는 *Ch. curvisetus*에 의해 그리고 녹동항 주변 정점 12, 14에서는 *C. furca*와 *Thalassiosira* sp.에 의해 적조가 각각 발생되었다. 적조 발생시의 해양환경은 수온 23.8~29.7°C 그리고 염분 23.1~27.0‰를 나타내었다. 와편모조류인 *P. minimum*가 적조를 발생시켰을 때 수온은 26.5~29.7°C 그리고

**Table 1.** Variations of water temperature and salinity during phytoplankton red tides in Deukryang Bay, July 1998

St.	Standing crops ( $\times 10^6$ cells/l)	Leading organisms of red tide	Occupied ratio (%)	Water temp. ( $^{\circ}$ C)	Salinity (%)	
1	35.0		79.3	29.7	23.7	
2	16.1		58.9	28.0	23.5	
3	22.9	<i>Prorocentrum minimum</i>	42.7	27.1	23.1	
4	11.9		50.8	27.0	23.1	
5	13.9		40.8	26.5	24.1	
7	11.3		52.4	26.9	24.9	
8	17.2		66.1	26.9	25.4	
9	23.2		82.1	26.1	26.8	
10	38.3	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	76.2	26.0	27.0	
11	22.0		73.2	26.0	25.3	
13	26.1		69.2	23.8	25.2	
16	15.0		40.7	24.7	24.2	
17	15.0		39.8	23.9	25.3	
12	6.7		<i>Ceratium furca</i>	44.4	25.0	25.9
14	30.1		<i>Thalassiosira sp.</i>	41.1	24.0	25.2

염분 23.1~24.1%, *Ch. curvisetus*에 의한 적조일 때는 수온 23.8~26.9 $^{\circ}$ C 그리고 염분 24.2~27.0% 그리고 *C. furca*와 *Thalassiosira sp.*일 때는 수온 24.0~25.0 $^{\circ}$ C 그리고 염분 25.2~25.9%를 나타내었다. 특히 질소와 같은 영양염류의 농도가 높았던 만의 상부와 녹동항 주변에서는 외편모조류인 *P. minimum*과 *C. furca*에 의한 적조가 발생되었으며, 상대적으로 농도가 낮은 해역에서는 돌말류인 *Ch. curvisetus*에 의하여 적조가 발생되었다.

## 논 의

조사기간 중 평균 수온이 비교적 낮은 것은 정점별 차이 때문에 생긴 현상으로 판단된다. 즉 7월과 8월에 만의 상부에서는 수심이 낮아 대기 온도가 직접적으로 수온에 영향을 미치기 때문에 수온이 높았으나 득량도 아랫쪽 해역에서는 외해의 영향으로 수온이 약간 낮게 나타나 평균 수온에 영향을 미친 것으로 판단되었다. 이와 같은 예는 허 등(1981)의 1980년 8월에도 나타났고, 유와 허(1982)에 의한 1982년 8월 완도의 수온이 18.5~24.6 $^{\circ}$ C였던 것을 고려하면 매우 타당하다고 판단된다. 염분농도의 변화는 본 해역과 같이 대부분의 반폐쇄적이고 담수가 유입되는 만 상부에서 낮으며 여름철 장마가 끝나면 가을에 염분농도가 높아지는 것이 일반적인 경향이다(허 등 1981). 득량만에서 1980년 8~9월에 만의 상부와 대조정점 사이에 염분농도의 차이가 심한 것도 이와 같은 경향이었으며(허 등 1981), 여자만의 1989년 7월 장마기에 만의 상부와 만 입구에서 무려

20% 이상의 차이를 보인 것도 같은 결과이다(김 등 1990). 수소이온농도는 과거 자료와 큰 변화가 없어, 허 등(1981)이 1980년 9월부터 이듬해 7월까지 평균 8.23을 보고한 것이 금번 조사와 유사하여 이를 반증한다. Chlorophyll-*a*의 농도는 7월과 8월에 비교적 높아 생산성이 활발한 것으로 판단되며, Cho *et al.* (1982)은 1981년 9월 1.26~4.87 mg/m $^3$ 의 범위로 본 조사에서 평균농도 기준 3~4.5배 증가되었다.

Chlorophyll-*a*의 농도가 7월보다 8월에 낮은 것은 여름철 장마기간으로 수온이 낮고 담수의 유입으로 염분농도가 낮았으며, 일조시간이 짧아 햇빛에너지를 이용하여 광합성을 하는 식물플랑크톤군집의 성장환경이 좋지 않았던 것으로 판단된다. 본 연구기간에 투명도는 2.0~3.2 m를 나타내었으며, 이는 chlorophyll-*a*와 함께 부영양화 정도를 결정하는 주요 지표로서 본 해역은 부영양화 수준을 넘어서고 있었다(吉田 1973). 한편 이와 허(1983)는 본 해역에서 1980년 8월에 투명도 1.7 m를 보고하였으며, 진해만과 같이 과영양화 해역에서는 투명도가 0.8~1.9 m로 매우 낮았다(이 등 1981). 화학적산소요구량은 정점 5, 12, 15에서 약간 높은 농도를 보였으며, 이는 만 상부의 하천이나 녹동항 주변환경에서 유입된 유기물질의 양에 의한 것으로 판단된다. 이와같은 오염부하량은 영양염류 중 아질산염질소가 만의 상부(정점 4, 5)와 녹동항 주변(정점 15~19)에서 높게 나타난 것과도 같은 맥락에서 기인한다고 판단된다. 한편 암모니아성질소가 다른 질소구성원 보다 높게 나타난 것으로 보아 총질소의 양은 암모니아성질소에 따라 좌우된다고 판단된다. 인산염은 본 해역에서 평균 0.47  $\mu$ M/l

로 1980년 9월의 평균  $0.5266 \mu\text{M/l}$ 와 유사하였으며(허 등 1981), 인접해역인 1979~1980년 가막양만~여자만에서는  $0.039\sim 2.145 \mu\text{M/l}$ 이었고(Shim 1980), 여자만에서 1989년 10월에는  $1.03\sim 3.40 \mu\text{M/l}$ (김 등 1990)을 보여 비슷하거나 약간 낮은 값을 보였다. 규산염은 허 등(1981)의 1980년 9월 조사보다 월등히 높아지고 있었다.

식물플랑크톤 종조성은 이와 허(1983)가 본 해역에서 1980년 8월부터 1981년 6월까지의 67종류를 보고한 것보다는 다양해졌지만 주변해역에서의 조사보다는 단조로운 종조성을 나타냈다(양 1977; 양과 김 1981; 조 등 1994). 월별 식물플랑크톤 현존량은 7월에 전 해역에서 대발생을 그리고 8월과 9월로 접어들면서 급격히 감소하였다. 정점별 식물플랑크톤 현존량의 값은 우도와 득량도 주변에서 멀어질수록 즉 내만에서 외해로 갈수록 현저하게 감소하였는데 이는 영양염류의 분포와 같은 경향이였다. 이와 허(1983)는 본 해역에서 1980년 8월부터 1981년 6월까지 매 짝수달에 식물플랑크톤 현존량의 변화가  $2,967\sim 5,326,814 \text{ cells/l}$ 의 범위였으나 8월에는 만의 상부인 우도 주변해역에서  $3.0\sim 8.2 \times 10^5 \text{ cells/l}$ 이었고 12월에는 전해역에서 대발생이 일어나 평균  $2.0 \times 10^6 \text{ cells/l}$ 을 보였다. 따라서 금번 득량만의 식물플랑크톤 현존량은 정점별 차이는 다소 있어도 기존의 조사보다 상당히 높은 값을 나타내었으며 과거부터 년 중 식물플랑크톤 대발생이 일어나는 것으로 판단된다.

이와 허(1983)에 따르면 8월에는 득량만의 상부인 우도 주변해역에서 *Ceratium furca*가 우점종이었으며, 12월에는 *Skeletonema costatum*이 대발생을 주도하였는데 비록 금번 8월의 조사에서 *C. furca*가 우점종은 아니었어도 출현빈도가 높았던 점을 고려하고 국립수산진흥원과 남해수산연구소의 보고에서 *C. furca*가 여름철에 적조를 유발시킨 점을 감안하면 이 해역의 우점종은 약 20여년 가까이 지속된다고 할 수 있다. 따라서 금번 득량만의 식물플랑크톤 돌말류의 우점종은 인접해역과 다소의 차이는 있어도 기존의 조사와 상당히 비슷한 경향성(*Chaetoceros*종류가 우점한 부분)이 있는 반면 외편 모조류는 기존의 조사와 잘 일치하고 있었다. 한편 식물플랑크톤 군집의 종다양성 지수를 우점도 지수와 비교해 보면, 8월 정점 1에서 가장 낮은 종다양성 지수인 0.8438을 보였을 때 제 1, 2 우점종이 차지하는 비율은 88.0%였고, 가장 높은 종다양성 지수를 보였던 8월 정점 17에서 우점도 지수는 26.7%로 가장 낮은 값을 나타내어 종다양성 지수와 우점도 지수 사이에는 역비례 관계에 있었다. 균등성 지수가 가장 낮았던 7월 정점 9에서 우점도 지수는 87.3%로 높았고 종다양성 지수는

0.8685로 매우 낮았다. 반면에 균등성 지수가 가장 높았던 9월 정점 16의 우점도 지수는 25.0%로 가장 낮았고 종다양성 지수는 2.8005로 가장 높았다. 따라서 균등성 지수는 우점도 지수와 반비례하고 종다양성 지수와는 정비례 관계를 나타내었다. 그러므로 종다양성 지수, 균등성 지수, 풍부도 지수는 정비례 관계인 반면에 우점도 지수와는 역비례 관계에 있었다.

본 조사기간 중 7월의 적조원인종은 정점별로 차이가 있어 만의 최상부인 정점 1~5에서는 *Prorocentrum minimum*, 정점 6~11, 13, 16~17에서는 *Chaetoceros curvisetus*, 정점 12에서는 *C. furca*, 정점 14에서는 *T. sp.*였다. 적조현상시 환경은 수온  $23.8\sim 29.7^\circ\text{C}$  그리고 염분 23.1~27.0%의 범위를 나타내었다. 본 해역 상부에서 적조를 유발시킨 *P. minimum*은 1981년 7월 마산 내만에서 *P. micans*와 *P. triestinum*이 혼합적조를 발생시켰다(Lee & Kwak 1986). 또한 1985년부터 10년 이상 매해 6월부터 9월까지 해양오염이 심하여 적조다발해역으로 알려진 진해만, 마산만, 행암만 등에서 농도높은 적조가 발생하였다(Park 1991, 김 등 1997). 따라서 오염이 심한 해역에서 적조를 유발하는 *P. minimum*이 본 해역 상부에서 처음으로 적조를 발생시킨 것은 시사하는 바 크다고 할 수 있다.

이와 허(1983)는 본 해역에서 2월과 12월에는 *S. costatum*에 의한 대발생이, 8월에는 *C. furca*에 의한 대규모 적조가 있었음을 보고하였다. 본 조사에서도 7월 정점 3, 5, 6, 12, 17에서 *C. furca*가  $10^5 \text{ cell/l}$  이상 출현하여 돌말류와 함께 혼합적조(multi-phase red tides)를 발생한 것으로 보아 여름철에 본 종에 의하여 적조가 발생됨을 알 수 있었다. 한편 *C. furca*에 의한 적조가 발생되었을 때인 1981년 8월의 해양환경은 수온  $23.78\sim 24.25^\circ\text{C}$ , 염분 31.54~31.56‰, D.O.는  $8.2\sim 8.4 \text{ mg/l}$ , pH는 8.28, 투명도 1.5~2.0 m였다(이와 허 1983). 1993년 거제도 둔덕만, 구조라, 도장포에서 *C. furca*가  $4,400\sim 8,200 \text{ cell/l}$ 까지 출현하여 심한 적조를 유발하였고, 같은 해 9월 14일 마산만에도  $5,000 \text{ cell/l}$  정도의 적조가 있었으며, 1995년에는 7월 12일부터 10월 13일까지 경상남도와 전라남도 연안에서 본 종이 대규모 출현하였다(Kim et al. 1998). 또한 1996년 6월과 7월 여수주변연안과 통영주변 및 진해만 연안에서도 본 종이 적조를 일으켰다(이 등 1996).

외국의 출현 생태를 보면 Graham & Bronikovsky(1994)는 본종의 수온 범위가  $6.6\sim 29.4^\circ\text{C}$ , 염분은 33.1~37.0‰, pH는 7.68~8.47일 때 분포한다고 보고하였다. 일본에서는 1966년 9월 하순에 *C. furca*에 의한 적조가 발생하였으며, 이 때의 해황은 수온  $22.2\sim 25.8^\circ\text{C}$ ,

염분 16.71~31.60%이었다. 따라서 *C. furca*와 혼합적조가 나타났던 본 조사기간 중의 7월과 환경 조건이 유사하였다. 금번 득량만의 적조는 이와 허(1983)의 조사로부터 18년이 경과하여 연속적인 시간개념으로 직접 비교하기는 어려우나 그 사이에도 적조가 계속 발생되었다고 볼 수 있다. 이와같은 반증으로는 국립수산진흥원 고흥어촌지도소의 조사(미발표자료)를 보면 1993년 8월 19일부터 23일까지 *S. costatum*, *Noctiluca scintillans*, *Heterosigma* sp.에 의한 적조가, 1995년 9월 4일부터 10월 7일까지, 1996년 9월 16일부터 9월 28일까지 그리고 1997년 8월 27일부터 9월 14일까지 각각 *Cochlodinium polykrikoides*에 의한 적조가 발생되었다고 기록되었다. 한편 본 해역에서 적조원인종으로 기록된 *Ch. curvisetus*는 진해만에서 1977년 3월 표층에서 22.50%를 우점한 바 있고(Yoo & Lee 1979), 인천항 선거에서는 1990년 10월 표층과 저층에서 공히 제1우점종으로 각각 47.5%와 30.7%를 기록하였으며, 1991년 9월 표층과 저층에서 각각 제2우점종으로 21.4%와 29.3%를 차지한 바 있다(이 등 1997). 또한 이 등(1981)에 따르면 진해만에서 *Ch. curvisetus*가 최고  $1.3 \times 10^6$  cells/l까지 기록되어 혼합 적조를 유발시킨 바 있었다. 따라서 *Ch. curvisetus*는 오염해역에서는 적조를 유발시키는 종으로 판명되었다. 본 조사해역인 득량만은 적조원인 생물도 다양해져가고 있으며, 진해만의 오염초기와 유사한 양상을 띄고 있을 뿐만 아니라 매년 적조가 발생하는 해역으로 판단되어 집중적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- 김종관 등(1990) 순천만 어장(양식물) 피해원인 조사연구. 한국해양연구소 BSPI 00096-293-3.
- 김학균, 이삼근, 안경호, 윤성화, 이필용, 이창규, 조은섭, 김정배, 최희구, 김평중(1997) 한국연안의 적조-최근 적조의 발생원인과 대책-. 국립수산진흥원 pp. 280.
- 양한춘(1977) 봄철 여수연안 규조류의 양과 조성. 여수수전 논문집 11 : 71-81.
- 양한춘(1978) 봄철 여수연안 식물플랑크톤 색소량 분포. 여수수전 논문집 12 : 82-88.
- 양한춘, 김용환(1981) 광양만의 부유생물의 조성 및 양의 계절적 변화. 여수수산진흥원논문집 15 : 35-45.
- 유광일, 허회권(1982) 완도 인근 도서해역의 해양플랑크톤. 자연실태종합조사보고. 제2집 완도 인근도서 2-3 : 235-249.
- 윤양호, 고남표(1995) 거금수도내 양식어장의 해양환경 특성. 1. 식물플랑크톤 군집의 계절변동. 한국양식학회지 8 : 47-58.
- 이진환, 송현숙, 이은호(1997) 인천항 선거내의 식물플랑크톤 돌말류의 적조. 환경생물학회지 15 : 119-129.
- 이진환, 한명수, 허형택(1981) 진해만의 적조원인생물에 관한 연구. 해양연 소보 3 : 97-105.
- 이진환, 허형택(1983) 득량만에 있어서 식물플랑크톤과 적조 발생에 관한 연구. 해양연소보 5 : 21-26.
- 이필용, 강영실, 박종수, 김형오, 김성수, 최정일, 최우정, 박영철, 김대권, 박현식(1996) 남해 연안어장 환경오염 및 적조조사. 남해수연사업보고서 pp. 417-459.
- 조기안, 위인선, 최청일(1994) 광양만 식물플랑크톤의 생태학적 연구. 환경생물학회지 12 : 137-150.
- 허형택 등(1981) 발전소 온배수에 의한 수산자원에의 영향 및 대책에 관한 연구. 한국과학기술원 해양연구소 보고서 BSPI 00025-49-3.
- 小久保 清治(1955) 浮游硅藻類. 恒生閣, 東京.
- 吉田陽一(1973) 低質生産における生物生産の變化. 水産學 series 1. 恒星社 厚生閣, 東京, 日本.
- Brunel J(1970) Le phytoplankton de la Baie des Chaleurs. Les Press de l'Universite de Montreal. C. P. 6128, Montreal 3, Canada. pp. 365.
- Cho CH, KY Park, HS Yang & JS Hong(1982) Eutrophication of shellfish farms in Deukryang and Gamagyang Bays. Bull. Korean Fish. Soc. 15 : 233-240.
- Cupp EE(1943) Marine plankton diatoms of the west coast of north America. Bull. Scripps Inst. Oceanogr., Univ. Calif. 5 : 1-237.
- Graham HW & N Bronikovsky(1994) The genus *Ceratium* in the Pacific and north Atlantic Oceans. Carnegie Institution of Washington Publication 565 : 1-209.
- Hasle GR & EE Syvertsen(1996) Marine diatoms. C.R. Tomas ed. "Identifying marine diatoms and dinoflagellates". Academic Press.
- Hendey NJ(1964) An introductory account of the smaller algae of British coastal waters. V. Bacillariophyceae (Diatoms). pp. 317.
- Kim HK, SG Lee & CK Lee(1998) Harmful algal blooms in Korea and China. Proceed. Korea-China Joint Symposium on Harmful Algal Blooms hosted by NFRDI and CAFS, Pusan, Korea, 5-7 December 1997. pp. 115.
- Lee JH & HS Kwak(1986) A study on the *Gymnodinium nagasakiense* red-tide in Jinhae Bay of Korea. Korean J. Ecol. 9 : 149-160.
- Lloyd M & RJ Ghelardi(1964) A table for calculating the equitability component of species diversity. J. Anim. Ecol. 33 : 421-425.
- Margalef R(1958) Perspectives in ecology theory. Chicago, University of Chicago Press pp. 112.
- McNaughton SJ(1968) Structure and function in California grasslands. Ecology 49 : 962-972.
- Park JS(1991) Red tide occurrence and countermeasure in

- Korea. In "Recent Approaches on Red Tides". Proceed. "1990 Korean-French Seminar on Red Tides" held Nov. 9-10, 1990 at NFRDA, Pusan, Korea.
- Pielou EC (1966) The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theoretical Biol.* **13** : 131-144.
- Shannon CE & W Weaver (1949) The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana, IL.
- Shim JH (1980) Biological oceanography of the Gamagyang Bay-the Yeoja Bay water system (I). *J. Oceanol. Soc. Korea* **15** : 89-99.
- Simonsen R (1974) The diatom plankton of the Indian Ocean expedition, R/V Meteor, 1964~1965. *Meteor Forsch.-Ergebnisse* **19** : 1-107.
- Sorensen T (1948) A method of establishing groups of equal amplitude in plant society based on similarity of species content. *K. Danske Selsk* **5** : 1-34.
- Strickland JDH & TR Parsons (1972) A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* **167** : 1-311.
- UNESCO/SCOR (1966) Determination of photosynthetic pigments in seawater. Monogr. Oceanogr. Method 1. Unesco, Paris. pp. 699.
- Yamaji I (1991) Illustrations of the marine plankton of Japan. Hoikusha Publ. Co. Ltd. pp. 369.
- Yoo KI & JH Lee (1979) Environmental studies of the Jinhae Bay. 1. Annual cycle of phytoplankton population, 1976~1978. *J. Oceanol. Soc. Korea* **14** : 26-31.

## Water Quality and Phytoplankton Red Tide in Deukryang Bay of Korea

Jin Hwan Lee and Eun Ho Lee

(Department of Biology, Sangmyung University, Seoul 110-743, Korea)

**Abstract** - In order to clarify water quality, dynamics and structure of phytoplankton communities, and red tides, the present study was carried out monthly from July to September 1998 at 19 stations in Deukryang Bay. Water temperature varied from 24.0°C to 28.6°C, and salinities ranged from 25.0‰ to 28.6‰. During red tides in July, chlorophyll-*a* contents were rather high in August, it showed that phytoplankton controlled primary production in this bay. Phytoplankton was composed of 89 diatoms, 19 dinoflagellates, and 3 silicoflagellates. Phytoplankton standing crops varied from a minimum of  $1.3 \times 10^4$  cells/l (Sept., St. 17) to a maximum of  $3.8 \times 10^6$  cells/l (July, St. 10). Red tides occurred in July when the standing crops averaged  $1.8 \times 10^6$  cells/l. Leading the causative organisms of red tide were *Prorocentrum minimum* in the upper bay, *Chaetoceros curvisetus* in the mouth and middle part of the bay, *Ceratium furca* and *Thalassiosira* sp. around Nokdong Harbour. Concentration of nutrients such as nitrogen was high in the upper bay, during red tides, water temperatures varied from 23.8°C to 29.7°C and salinity were 23.1‰ to 27.0‰. [Deukryang Bay, Water quality, Chlorophyll-*a*, Phytoplankton community, Red tides].