

제주도 한림항과 성산항 일대 식물플랑크톤의 군집동태

이준백, 좌종헌

(제주대학교 해양과학대학 해양학과)

The dynamics of phytoplankton communities at Hanrim and Songsan harbor of Cheju Island, Korea

Joon-Baek Lee and Jong-Hun Choa

*Dept. of Oceanograph, College of Ocean Science,
Cheju National University*

The phytoplankton dynamics and correlations between phytoplankton community and environmental factors in the western and eastern area of Cheju Island have been monthly investigated at eight stations of Hanrim harbor and nine stations of Songsan harbor from August, 1989 to May, 1990. The ratio of common species occurred at two areas was 49.2%, showing the difference in species composition. The dominant species, however, of *Skeletonema costatum* and *Chaetoceros socialis*, comprised more than 75% commonly at two areas in spring season. Phytoplankton standing crops have showed the ranges of 3,277~1,952,809 and 6,458~1,799,870 cells/ ℓ at Hanrim and Songsan respectively, blooming in spring at Hanrim and in fall at Songsan. Daily primary production using C-14 method ranged 0.768~3.119 and 0.533~5.889 mg C/ m^2 /day at Hanrim and Songsan respectively, and carbon assimilation number at Songsan has showed higher than at Hanrim as well. The correlations between phytoplankton and environmental factors suggest that water temperature, dissolved oxygen and total nitrate-nitrogen affected the phytoplankton standing crops ($r^2=0.467$) at Hanrim, whereas salinity, dissolved oxygen and total phosphate-phosphorous affected it ($r^2=0.492$) at Songsan. From factor analysis, it is speculated that the ecological characteristic of two survey area is phytoplankton blooming by the increase of water temperature and the inflow of nutrients.

서 론

해양생태계내의 서식생물 군집은 직접 또는 간접으로 물질대사에 관계하여 상호간 밀접한 관련이 있다. 그 중에서도 식물플랑크톤은 생물생산과정의 기초생산자로서 중요한 위치를 차지하며, 해수유동과 환경요인의 변화등 각 해역의 해양학적 특성에 따라 다른 시간적, 공간적 군집 분포 및 동태를 나타낸다. 연안역중 항만 해역은 수산업뿐만 아니라 해양환경에 있어서도 그 위치가 커지고 있으며 직접적으로 육지 또는 인접도시에서 유출되는 하수와 폐수 그리고 선박에서 유출되는 유류와 오수에 의한 인위적인 환경부하로 인해 여러 가지 환경요인이 복합적으로 영향을 미치고 있어 생태학적으로 중요한 서식 환경을 이루고 있다.

제주도 항만 해역은 주변 해류와 년중 계속되는 용천수 및 강우기의 육수유입으로 인한 섬 특유의 독특한 환경내에 위치하고 있다(노와 정, 1980; 박, 1985). 또한 이로 인한 다양한 생물상의 분포를 보이고 있어 식물플랑크톤은 이들과 먹이사슬관계를 비롯한 점차 증가하는 부영양화에 의해 여러가지 상호작용을 나타내고 있을 것으로 기대된다. 지금까지 제주도 주변해역의 식물플랑크톤 군집에 관한 연구는 주로 현존량과 출현종의 분포에 관한 것이었으며 (Lee *et al.*, 1967; 최, 1978; 이, 1979; 고와 전, 1984; 전등, 1986; 이, 1989), 그 밖에 chlorophyll-*a* 에 의한 생물량 조사(정등, 1983; 전과 고, 1983; Shim and Park, 1984)와 C-14 법에 의한 기초생산에 관한 연구(이등, 1989)가 이루어졌다. 그러나 제주도 항만 해역의 중요성에 비추어 불매 항

만역의 식물플랑크톤에 대한 연구는 미비한 실정이다.

본 연구는 제주도 서부와 동부연안역의 대표적인 한림항과 성산항 해역의 식물플랑크톤 군집의 종조성과 현존량의 변화, 우점종의 계절적 동태, C-14법에 의한 기초생산력, 그리고 군집동태와 환경요인과의 상호관계를 조사하여 두 해역을 비교 연구함으로써 이들 해역의 기초자료를 얻고자 실시되었다.

재료 및 방법

조사시기 및 정점 본 조사는 제주도 서부연안역인 한림항과 동부연안역인 성산항 주변의 선정된 정점에서 1989년 8월부터 1990년 5월까지 매월 같은 시기에 실시하였다. (Fig. 1).

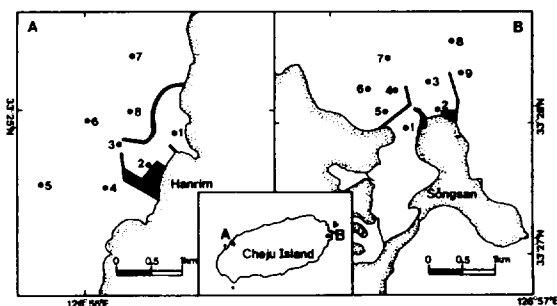


Fig. 1. Sampling stations at Hanrim and Söngsan harbor of Cheju Island.

식물플랑크톤 채집 및 분석 식물플랑크톤은 Niskin채수기로 표층수(표면 하 0.5m) 및 저층수(저면 상 0.5m) 1ℓ씩을 채수하여 선상에서 5% 중성 formalin으로 고정하였다. 정량분석을 위한 현존량은 농축된 재료중 균일하게 1ml를 취하여 Sedgwick-Rafter coun-

ting chamber에 넣어 세포수를 계수한 후 단위체적당 세포수(cells/ℓ)로 환산하여 표시하였다. 또한 정성분석을 위해서 농축재료를 일정량 취하여 광학현미경(Swift, M-1000D)으로 400-1,000배의 배율하에서 검경하였다. 동정 및 분류는 Hustedt (1927, 1930), Cupp (1943), Cleve-Euler (1955), Kokubo (1955), Hendey (1964), Simonsen (1979), Dodge (1982), Yamaji (1984), Chin *et al.* (1985) 등을 참고하였고 이들의 분류체계를 따랐다.

Chlorophyll 및 기초생산력 측정

Chlorophyll용 재료는 Niskin 채수기를 이용하여 채수하였고 Parsons *et al.* (1984)의 색소추출방법에 의해 측정하였다. 기초생산 측정을 위한 재료는 각 해역의 선정된 3~4개 정점에서 채수한 후 방사선 동위원소(C-14)법에 의한 광합성능력을 측정하였다(Parson *et al.*, 1984). 재료의 처리는 배양장소에서 80ml captube에 각정점의 해수를 채운 후 C-14로 처리된 sodium bicarbonate (NEN, NEC-860s, 2 μ Ci/ml)를 1ml 첨가하여 광조전하와 무광조전하에서 각각 2시간씩 배양했다. 배양이 끝난 해수를 곧바로 GF/C 여과지(Whatman, pore size 1 μ m, 47mm)로 여과시킨 후 보관하여 실험실로 옮겼다. 여과된 GF/C 여과지는 진한 HCl에 의해 acid fuming을 시킨 후, scintillation vial에 넣고 cocktail용액(NEN, Aquasol)을 15ml를 첨가하여 Liquid scintillation counter (Berthold, BF8000)에서 DPM 값을 측정했다. 측정된 방사능량은 광합성량으로 계산하여 시간당 기초생산량(mg C/ m²/hr)과 일일기초생산량(mg C/ m²/day)으로 환산하였다. 또한 동화된 탄소량을 이용하여 단

위시간당 식물플랑크톤의 탄소동화율(mg C/mg chl-a/ hr)을 환산하였다.

환경요인 측정 환경요인 중 수온은 봉상 온도계로, 염분은 질산은용액 적정법으로, pH는 pH meter(Harris)로, 용존산소는 Winkler-Azide 변법으로, 총인산-인과 총질산-질소는 Parsons *et al.* (1984)방법에 의해 측정하였다(제주대학교 해양연구소, 1990).

자료분석 식물플랑크톤과 환경요인과의 상관성을 알기 위해 SYSTAT 통계프로그램을 이용하여 단계식 중회귀분석(Stepwise multiple regression analysis) 및 요인분석(Factor analysis)을 실시하였다.

결과 및 고찰

종 조성 조사기간중 출현한 식물플랑크톤은 한림항 해역이 총 112종류가 출현하여 규조류가 93종, 와편모조류가 17종, 규질편모조류가 2종이었으며, 성산항 해역이 총 85종류가 출현하여 규조류가 74종, 와편모조류가 9종, 규질편모조류가 2종으로 구성되어 있다(Table 1).

두 항만해역의 공통 출현종의 차지하는 비율은 49.2%로 한림항과 성산항 해역의 종조성이 큰 차이가 나타남을 알 수 있다. 전정점에서의 출현빈도를 보면 총 9회 조사중 6회 이상 출현한 종류는 한림항 해역이 *Bacteriastrium hyalinum*, *Chaetoceros socialis*, *Grammatophora marina*, *Licmophora lynbyei*, *Melosira nummuloides*, *Nitzschia longissima*, *Nitzschia sigma*, *Skeletonema costatum*,

Table 1. List of occurrence species at Hanrim and Söngsan harbor in Cheju Island.

Species name	Hanrim harbor	Söngsan harbor
Diatoms		
<i>Achnanthes brevipes</i>	*	*
<i>Achnanthes longipes</i>		*
<i>Actinoptychus senarius</i>	*	*
<i>Actinoptychus splendens</i>		*
<i>Amphiprora alata</i>	*	
<i>Amphiprora gigantea</i> var. <i>sulcata</i>	*	
<i>Amphora coffeaeformis</i>	*	*
<i>Amphora decussata</i>	*	
<i>Amphora lineolata</i>	*	*
<i>Amphora ovalis</i>	*	
<i>Amphora proteus</i>	*	
<i>Amphora quadrata</i>	*	
<i>Amphora</i> sp.		*
<i>Arachnoidiscus ehrenbergii</i>	*	*
<i>Asterionella formosa</i>		*
<i>Asterionella gracillima</i>	*	
<i>Asterionella kariana</i>		*
<i>Auricula insecta</i>	*	
<i>Bacillaria paxillifer</i>	*	*
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	*	
<i>Bacteriastrum elongatum</i>	*	*
<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	*	*
<i>Biddulphia obtusa</i>	*	
<i>Biddulphia pulchella</i>	*	*
<i>Compylodiscus undulatus</i>	*	
<i>Cerataulina turgidus</i>		*
<i>Chaetoceros affinis</i>	*	*
<i>Chaetoceros compressum</i>	*	*
<i>Chaetoceros costatum</i>	*	*
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	*	*
<i>Chaetoceros debilis</i>	*	
<i>Chaetoceros decipiens</i>	*	*
<i>Chaetoceros didymus</i>	*	*
<i>Chaetoceros diversum</i>	*	*
<i>Chaetoceros lacinosus</i>	*	

제주도 한림항과 성산항 일대 식물플랑크톤의 군집동태

Species name	Hanrim harbor	Songsan harbor
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	*	
<i>Chaetoceros pendulus</i>	*	*
<i>Chaetoceros socialis</i>	*	*
<i>Climacosphenia moniligera</i>		*
<i>Cocconeis pseudomarginata</i>	*	*
<i>Cocconeis scutellum</i>	*	*
<i>Corethron criophilum</i>	*	*
<i>Coscinodiscus gigas</i>	*	*
<i>Coscinodiscus maginato-lineatus</i>	*	
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	*	*
<i>Cylindrotheca closterium</i>	*	*
<i>Diploneis splendida</i>		*
<i>Ditylum brightwellii</i>	*	*
<i>Ditylum sol</i>	*	
<i>Eucampia complanata</i>	*	
<i>Eucampia groenlandica</i>	*	*
<i>Eucampia zodiacus</i>	*	
<i>Fragillaria islandica</i>	*	*
<i>Gophonema constrictum</i>		*
<i>Grammatophora angulosa</i>	*	*
<i>Grammatophora marina</i>	*	*
<i>Guinardia flaccida</i>	*	*
<i>Gyrosigma tenuirostris</i>	*	
<i>Gyrosima</i> sp.	*	
<i>Hemiaulus hauckii</i>	*	
<i>Isthmia enermis</i>		*
<i>Lauderia annulata</i>	*	*
<i>Lauderia glacialis</i>	*	*
<i>Leptocylindrus danicus</i>	*	*
<i>Licmophora flabellata</i>	*	
<i>Licmophora lyngbyei</i>	*	*
<i>Melosira nummuloides</i>	*	*
<i>Navicula complanata</i>	*	*
<i>Navicula distans</i>		*
<i>Navicula mollis</i>	*	
<i>Nitzschia delicatissima</i>	*	
<i>Nitzschia longissima</i>	*	*
<i>Nitzschia longissima</i> var. <i>reversa</i>	*	*

Species name	Hanrim harbor	Sŏngsan harbor
<i>Nitzschia pacifica</i>	*	*
<i>Nitzschia sigma</i>	*	*
<i>Nitzschia sigma</i> var. <i>intermedia</i>	*	
<i>Nitzschia spathula</i>		*
<i>Nitzschia</i> sp.	*	
<i>Odontella mobiliensis</i>	*	
<i>Odontella sinensis</i>	*	*
<i>Paralia sulcata</i>	*	*
<i>Pleurosigma affine</i>	*	*
<i>Pleurosigma</i> sp.		*
<i>Rhabdonema adriaticum</i>	*	*
<i>Rhabdonema arcuatum</i>	*	*
<i>Rhizosolenia alata</i>		*
<i>Rhizosolenia calcar-avis</i>	*	
<i>Rhizosolenia fragillima</i>	*	*
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>hiemalis</i>	*	*
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>semispina</i>	*	
<i>Rhizosolenia setigera</i>	*	*
<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>	*	
<i>Rhoicosphenia curvata</i>		*
<i>Skeletonema costatum</i>	*	*
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	*	
<i>Striatella unipunctata</i>	*	*
<i>Surirella cuneata</i>	*	*
<i>Surirella eximia</i>		*
<i>Synedra pelagica</i>	*	
<i>Synedra tabulata</i>	*	*
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	*	*
<i>Thalassiosira baltica</i>	*	
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	*	*
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	*	*
<i>Thalassiosira rotula</i>	*	*
<i>Thalassiosira subtilis</i>	*	
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	*	*
<i>Thalassiothrix mediterranea</i>	*	
<i>Triceratium americanum</i>		*
<i>Tropidoneis elegans</i>	*	

제주도 한림항과 성산항 일대 식물플랑크톤의 군집동태

Species name	Hanrim harbor	Songsan harbor
Dinoflagellates		
<i>Ceratium furca</i>	*	*
<i>Ceratium fuscus</i>		*
<i>Ceratium macroceros</i>	*	
<i>Dinophysis caudata</i>	*	
<i>Helgolandinium subglobosum</i>	*	
<i>Noctiluca scintillans</i>	*	
<i>Prorocentrum micans</i>	*	*
<i>Protogonyaulax fratercula</i>	*	*
<i>Protooperidinium coricoidese</i>	*	
<i>Protooperidinium graniie</i>	*	
<i>Protooperidinium hiobis</i>	*	
<i>Protooperidinium murray</i>	*	
<i>Protooperidinium oblongum</i>	*	*
<i>Protooperidinium ovatum</i>	*	
<i>Protooperidinium ovum</i>	*	*
<i>Protooperidinium pentagonum</i>		*
<i>Protooperidinium quinquecorne</i>	*	
<i>Protooperidinium</i> sp.	*	*
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	*	*
Silicoflagellates		
<i>Dictyocha fibula</i> var. <i>stapedia</i>	*	*
<i>Distephanus speculum</i>		*
<i>Distephanus speculum</i> var. <i>octonarius</i>	*	
Number of species	112	85

Thalassionema nitzschioides, *Thalassiosira nordenskiöldii*, *Thalassiosira rotula* 등 11종의 규조류와 와편모조류인 *Scrippsiella trochoidea* 가 1종이었으며, 성산항 해역은 *Achnanthes brevipes*, *Chaetoceros compressum*, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros socialis*, *Cocconeis scutellum*, *Licmophora lyngbyei*, *Melosira nummuloides*, *Navicula complanata*, *Nitzschia*

longissima, *Nitzschia pacifica*, *Nitzschia sigma*, *Paralia sulcata*, *Rhizosolenia alata*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira nordenskiöldii*, *Thalassiosira rotula* 등 16종의 규조류로 이들 해역의 대표종이라 할 수 있으며 이 중 *Nitzschia longissima*, *Thalassiosira nordenskiöldii* 는 한림항 해역에서, *Cocconeis scutellum*, *Licmophora lyngbyei*, *Nitzschia*

longissima, *Nitzschia pacifica*는 성산항 해역에서 매달 출현하였다. 출현종의 생태적인 구분을 보면 한림항 해역은 연안종이 77.7%, 외양종이 6.2%, 연안-외양종이 16.8%를, 성산항 해역은 연안종이 75.3%, 외양종이 7.1%, 연안-외양종이 17.6%를 나타내어 이들 해역은 연안성의 특성을 보이고 있다. 연안-외양종과 외양종의 비율은 한림항과 성산항 해역이 각각 23.0%와 24.7%로 제주북방 탐동연안역의 30.1%(이, 1989) 보다는 낮게 나타나는데 이는 이들 항만해역이 항내와 항외로 구성되어 있어 외양수와 혼합이 미흡하기 때문이라 생각되지만, 경기만에서의 20.6%(Choi and Shim, 1986), 광양만의 22.1%(유 등, 1975) 보다는 높은 구성비를 나타내고 있다. 월별 출현종수의 분포를 살펴보면 한림항 해역이 16~43종의 분포로 11월이 가장 많고 4월이 가장 적었으며, 성산항 해역은 26~39종의 분포로 계절별로 특이한 변동을 보이지 않고 고른 출현종수의 분포를 나타내고 있다.

우점종의 시공분포와 천이 각 정점에서 월별 현존량의 비가 25% 이상되는 종류를 우점종으로 선별한 결과 한림항과 성산항 해역에서 각각 14종과 10종이 우점하고 있으며 계절적인 천이 양상을 보이고 있다. 한림항 해역은 *Skeletonema costatum* 이 75% 이상의 가장 높은 우점율을 보였으며 *Bacteriastrium elongatum*, *Chaetoceros socialis*, *Nitzschia longissima* 들도 50% 이상의 우점율을 보이고 있다(Fig. 2). 성산항 해역은 *Chaetoceros socialis*, *Skeletonema costatum*이 75% 이상의 가장 높은 우점율을 보였으며 *Bacteriastrium hyalinum*, *Ditylum brightwellii* 들도 50% 이상

의 우점율을 보이고 있었다(Fig. 3).

계절별 천이 양상을 보면 한림항 해역은 춘계와 하계에 1~2종류에 의한 우점을 보이고 있으나 추계와 동계는 특별한 우점종의 경향성을 보이지 않고 있다. 성산항 해역은 한림항 해역과는 달리 추계에 *Chaetoceros socialis*, *Skeletonema costatum*, *Ditylum brightwellii* 등이, 춘계에 *Skeletonema costatum* 이 우점하였고 다른 계절에는 특별한 경향성을 보이지 않았다. 또한 같은 시기에 두 해역에 우점하는 종은 11월에 *Ditylum brightwellii*, 12월에 *Nitzschia longissima*, 2월에 *Paralia sulcata*, 3월, 4월 및 5월은 *Chaetoceros socialis*, 4월과 5월은 *Skeletonema costatum* 이 출현하였다. 따라서 한림항과 성산항 해역은 크기가 작은 규조류인 *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros socialis*에 의해 높게 우점하는 특징을 보여주고 있다.

현존량의 계절적인 변화 조사기간동안 현존량의 변화는 한림과 성산항 해역에서 각각 3,277~1,952,809 cells/ℓ와 6,458~1,799,870 cells/ℓ로 비슷한 분포를 보였다. 표층과 저층의 현존량은 한림항 해역은 표층보다 저층이 대체적으로 높은 경향을 나타내고 있으나 성산항 해역은 표층과 저층의 차이가 명확하게 나타나지 않아 해수의 수직적 혼합이 원활히 일어나고 있다고 볼 수 있다. 또한 분류군별로는 규조류가 와편모조류 보다 월등히 높은 분포를 나타내고 있다. 한편 월별변화를 보면 한림항 해역은 '89년 8월부터 감소하기 시작하여 동계동안에 가장 적은 분포를 보였으며 '90년 2월부터 증가하다 4월에 대중식의 양상을 보이고 그후 감소하였다(Fig. 4). 성

제주도 한림항과 성산항 일대 식물플랑크톤의 군집동태

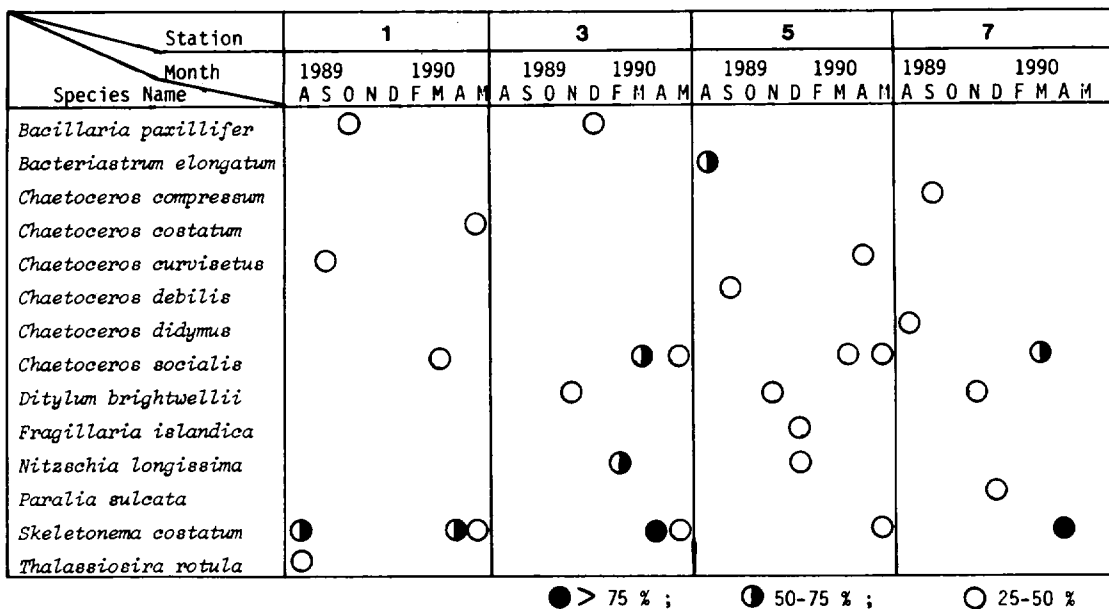


Fig. 2. Seasonal successions of dominant species at Hanrim harbor of Cheju Island.

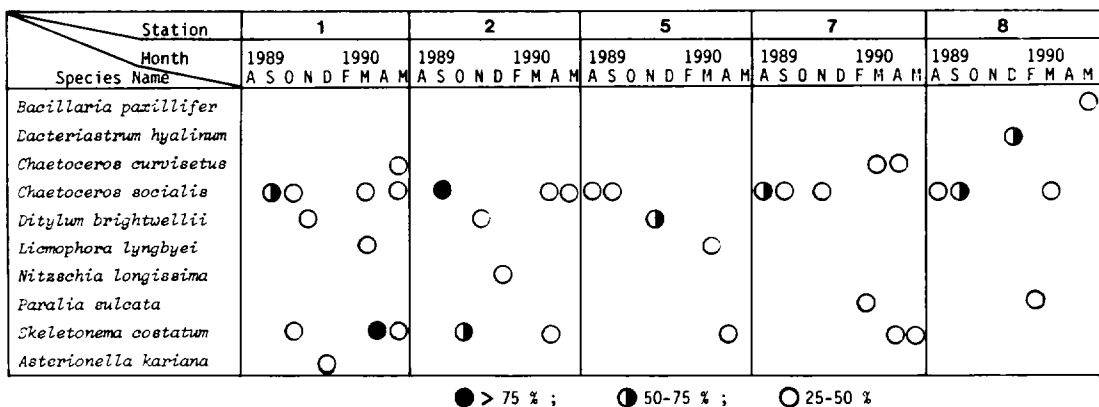


Fig. 3. Seasonal successions of dominant species at Söngsan harbor of Cheju Island.

산항 해역은 '89년 8월에서 9월까지 증가하여 절정을 이루고 그후 계속 감소하여 동계에는 낮은 현존량의 분포를 보이다가 춘계에 약간 증가하는 경향을 보이고 있다(Fig. 5).

따라서 대증식의 시기는 한림항 해역이 춘계에, 성산항 해역은 추계에 발생함으로써 제주도 동·서연안역의 식물플랑크톤 군집동

태는 계절적으로 다른 양상을 보이고 있다. 각 해역에 있어 정점별 현존량의 분포는 한림항 해역에서는 정점간 큰 차이가 보이지 않았지만 성산항 해역에서는 정점 3이 높고 정점 8에서 낮은 현존량을 보이는데 이는 정점 3이 항내의 중간 정점으로써 항내와 항외의 해수가 합쳐지는 곳으로 높은 현존량을 나타내고

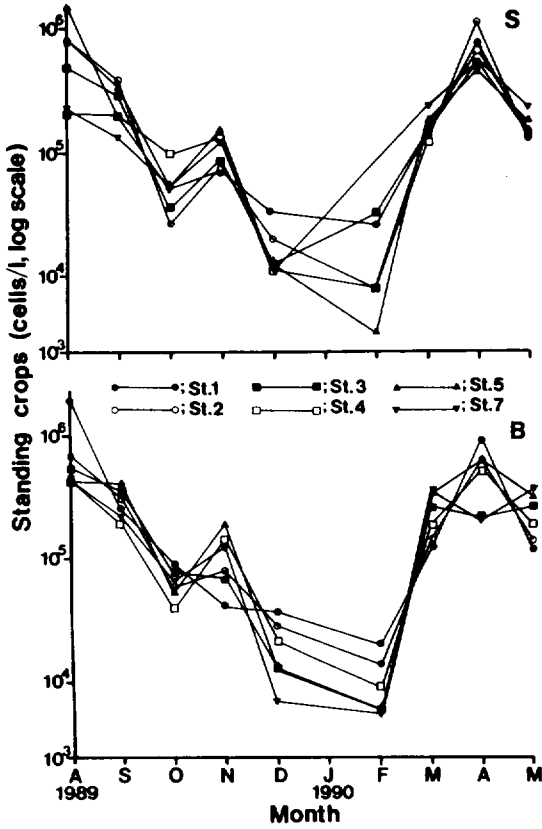


Fig. 4. Monthly variations of phytoplankton standing crops at Hanrim harbor of Cheju Island (S:surface layer, B:bottom layer).

있고 정점 8은 외해와 인접한 정점의 성격으로 낮은 현존량을 보이고 있다고 생각된다. 또한 조사된 제주도 주변해역의 식물플랑크톤의 자료와 비교해보면 삼양해역의 2,425~590,105 cells/l (고와 전, 1984), 탐동연안해역의 1,892~535,247 cells/l (이, 1989), 제주도 해안선 주변역의 해역별 평균값인 2,025~133,734 cells/l(이 등, 1989)와는 비슷한 분포를 보이지만 대중식 시기에는 다른 해역보다 월등히 높은 현존량이 분포를 나타

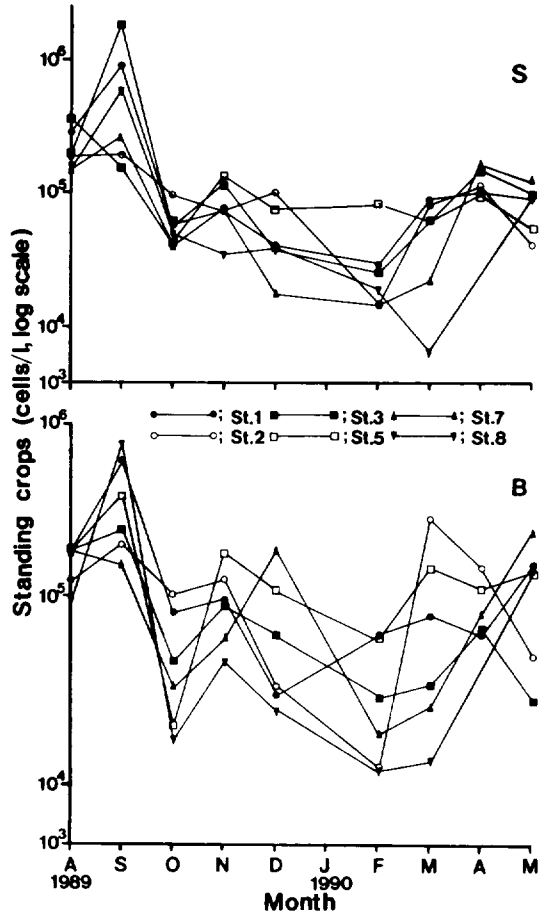


Fig. 5. Monthly variations of phytoplankton standing crops at Songsan harbor of Cheju Island (S:surface layer, B:bottom layer).

내고 있어 점차 이들 항만해역이 부영양화가 진행될수록 더 높은 현존량을 보일 것으로 생각된다.

Chlorophyll-a 량의 계절적인 변화 식물플랑크톤의 Chlorophyll-a 량의 변화 범위는 한림항 해역에서 표층이 0.023~2.440, 저층이 0.037~2.593 mg/m³의 분포를, 성산항 해역은 표층과 저층에서 각각 0.064~4.471과 0.1

제주도 한림항과 성산항 일대 식물플랑크톤의 군집동태

31~5.395mg/m³의 분포를 보여 성산항 해역이 높게 나타남을 알 수 있다. 월별 변화를 보면 한림항 해역은 '89년 8월부터 감소하여 11월에 증가를 보였고 12월부터 '90년 2월까지 아주 낮고 3월부터 증가하는 경향을 보였다(Fig. 6). 정점별로는 '89년 10월부터 2월까지의 별 차이 없으나 '90년 3, 4, 5월에는 차이가 심했다. 성산항 해역은 '89년 8월부터 급격히 감소하여 11월에 약간의 증가를 보였고 12

월부터 '90년 2월까지는 아주 낮고 4월부터 증가하는 경향을 보였다(Fig. 7). 정점별로는 '89년 10월부터 '90년 5월까지의 별 차이가 없으나 8월과 9월에 차이가 심했다. 또한 개체수와 상관성은 한림과 성산항 해역 모두에서 '89년 9월부터 '90년 2월까지의 정(+), 상관을 보였다. 3, 4, 5월은 역(-)의 상관을 보이고 있는데 이는 춘계에 대발생의 경향을 보인 *Skeletonema costatum*의 개체수의 증가

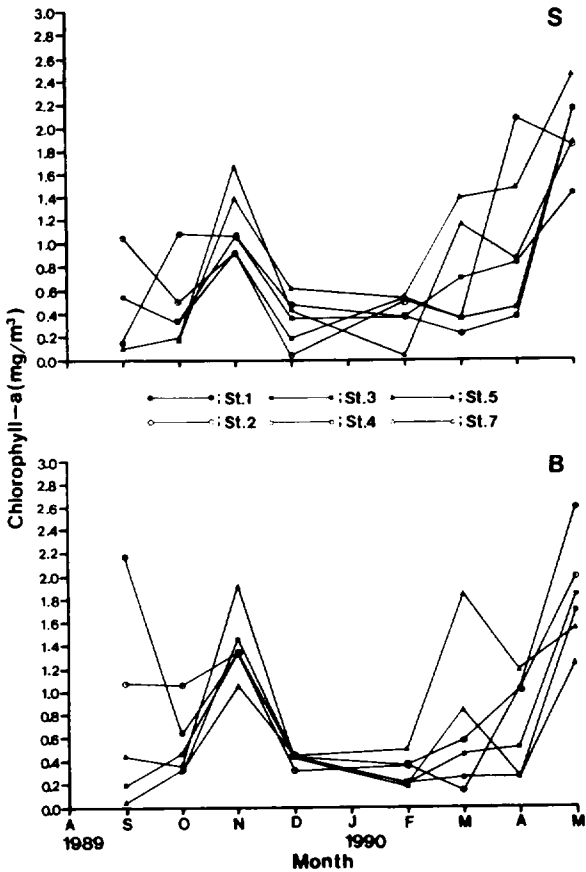


Fig. 6. Monthly variations of chlorophyll-a of phytoplankton at Hanrim harbor Cheju Island (S:surface layer, B:bottom layer).

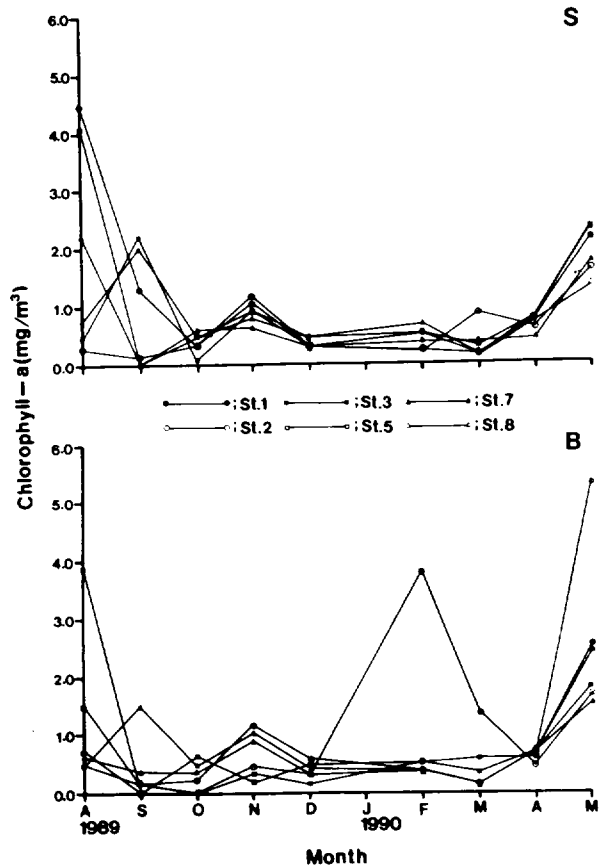


Fig. 7. Monthly variations of chlorophyll-a of phytoplankton at Sŏngsan harbor Cheju Island (S:surface layer, B:bottom layer).

는 인정되지만 세포의 크기와 Chlorophyll-a 량은 극히 적어 현존량과 Chlorophyll-a 의 상관성에 유의성이 없기 때문이라고 생각된다. 다른 해역과 비교하면 전과 고(1983)의 제주도 주변해역의 $0.127\sim 0.578\text{mg}/\text{m}^3$ 보다 높았으나 최등(1989)의 보고한 제주도 해안선주변의 $0.30\sim 3.89\text{mg}/\text{m}^3$ 과는 한림항 해역이 비슷한 범위를 나타내고 성산항 해역은 이보다 높은 량을 보이고 있으나 다른 한국연안역에 비해서는 매우 낮은 분포를 나타내고 있다.

기초생산량의 계절적인 변동 C-14법에 의한 식물플랑크톤의 일일기초생산량은 한림항과 성산항 해역에서 각각 $0.768\sim 3.119(\text{mg C}/\text{m}^3/\text{day})$ 과 $0.533\sim 5.889(\text{mg C}/\text{m}^3/\text{day})$ 의 범위를 보이고 있다. 계절별로 보면 한림항 해역은 동계가 가장 낮고 추계가 높게 나타났으며(Fig 8), 성산항 해역은 추계가 가장 낮고 동계가 높은 분포를 보였다(Fig. 9). 정점간

기초생산량이 차이는 한림항 해역에서는 항내가 항외보다 높은 생산력을 보였는데 이는 항내의 해수유동이 항외 보다는 적어 비교적 안정을 이룸으로써 식물플랑크톤의 증식 및 광합성에 도움을 주기 때문이라 생각된다. 성산항 해역은 한림항 해역과는 달리 항내보다는 항외가 더 높아 특이한 현상을 보이는데 이는 성산항 해역의 외해역이 심한 와류의 해수특성을 보이는 것과 연관을 지을수 있으나 정확한 결론을 내기에는 자료가 미흡하다. 그러나 이 등(1989)의 제주도 해안선주변 기초생산량과 비교해보면 상당히 낮은 분포를 보이고 있다. 또한 식물플랑크톤의 탄소동화율(carbon assimilation number)은 조사기간 동안 한림항과 성산항 해역에서 각각 $1.26\sim 1.63$ 과 $1.31\sim 2.26$ 으로 한림항 해역에서는 춘계에 최대, 동계에 최소치를 보인 반면 성산항 해역은 추계에 최대, 동계에 최소치를 보여 계절별로 차이가 있고 성산항 해역이 한림항 보다 높은

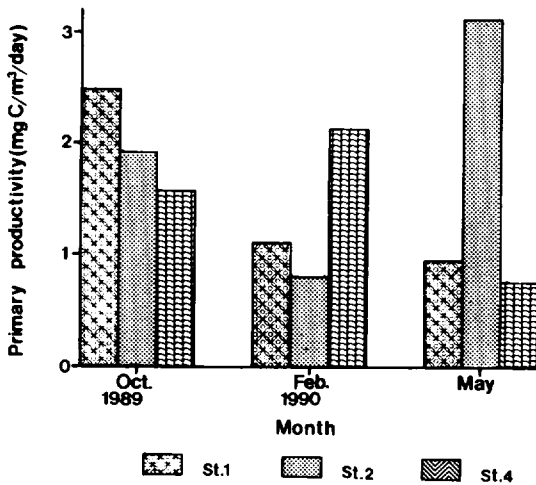


Fig. 8. Monthly variations of primary productivity by phytoplankton at Hanrim harbor of Cheju Island.

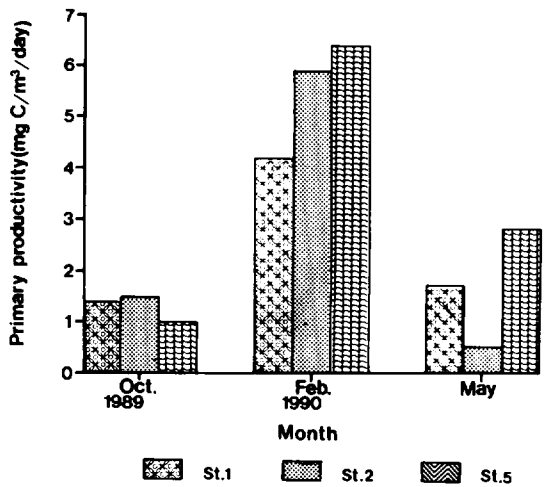


Fig. 9. Monthly variations of primary productivity by phytoplankton at Söngsan harbor of Cheju Island.

동화율을 보이고 있다.

환경요인과의 상관관계 조사해역의 물리, 화학적인 환경요인이 식물플랑크톤 군집동태에 미치는 영향을 파악하기 위해 단계식 중회귀분석을 하였다(Table 2). 사용된 변수는 총현존량을 상용대수로 치환하여 종속변수로 사용하였으며 6개의 환경요인(수온, 염분, 용존산소, 수소이온 농도, 총질산-질소, 총인산-인)을 독립변수로 하여 계산하였다. 분석결과 식물플랑크톤 현존량은 한림항 주변해역에서는 수온, 용존산소 및 총질산-질소의 영향($r^2=0.467$)을 받고 있었으며, 성산항 주변해역은 염분, 용존산소 및 총인산-인의 영향($r^2=0.492$)을 받고 있는 것으로 나타났다. 제주북방 탐동해역에서는 수온과 염분이 식물플랑크톤 군집동태에 영향을 주고 있다고 보고되었지만(이, 1989), 오염수역인 진해만의 경우 식물성 플랑크톤은 인산염-인산, 수온, chlorophyll-*a* 등의 영향을(Yoo and Lee, 1980), 와편모조류는 pH, 염분, 질산염-질소 등의 영향을 받고 있다고 보고되었다(Lee and Yoo, 1990). 따라서 한림항과 성산항도 영양염류에 의해 식물플랑크톤이 영향을 받고 있다는데 주목해야하며 이는 부영양화가 일어날 가능성이 있다는 것을 시사하고 있다.

한편 분석된 환경요인과 식물플랑크톤 현존량 및 Chlorophyll-*a* 등 생물적 및 무생물적 요인들을 요인분석하여 조사해역의 생태계에 미치는 요인을 추출하였다(Table 3). 그 결과 각각의 해역에서 두 개의 요인이 추출되었는데 한림항에서의 제1요인은 담수유입(SAL=-0.491)에 의한 질소원(T-N=0.921)과 인산원(T-P=0.882)의 증가였으며 제2요인은 수온의

증가(WT=0.932)와 강우에 따른 담수유입현상(SAL=-0.685)이 식물플랑크톤의 증가(PHYTO=0.607)를 유발시킴을 의미하였다. 또한 성산항에서의 제1요인도 수온의 증가(WT=0.882)와 강우 및 담수유입(SAL=-0.716)이 식물플랑크톤의 증가(PHYTO=0.800)를 유발시켰으며, 제2요인은 그로 인하여 광합성이 활발하게 일어나 용존산소(DO=0.610)와 pH(pH=0.807)가 증가하고 질소원(T-N=-0.717)과 인산원(T-P=-0.829)이 소비됨을 의미하였다. 이상의 결과는 남해안의 부영양화 수역인 마산만과 비슷한 생태계의 특성을 나타내고 있는 것으로(유와 이, 1990), 추출된 두 개의 요인들이 각 해역에서 62~63%의 설명력을 나타내고 있어 본 조사의 항만해역의 생태적 특성은 수온의 증가 및 영양염류의 유입과 그로 인한 식물플랑크톤의 증가로 볼 수 있다. 이러한 현상은 일반적으로 부영양화가 심한 반폐쇄만에서 나타나는 것이지만 청정해역인 제주해역에서도 가능성이 있다는 것을 시사하고 있는 것으로써 앞으로 항만의 부영양화에 대한 관심과 예방에 주의를 기울여야 할 필요가 있다고 생각된다.

요 약

제주도 동·서 연안역의 식물플랑크톤 군집동태 및 환경요인과의 상관관계를 비교 파악하기 위해 한림항과 성산항 주변해역의 정점을 중심으로 1989년 8월부터 1990년 5월까지 매월 조사를 실시하였다. 두 항만 해역에서 공통으로 출현한 종의 비율은 49.2%로써 종조성에서 차이를 보였으나 *Skeletonema costatum*,

Table 2. Multiple correlations between total phytoplankton standing crops and environmental parameters at Hanrim and Söngsan harbor of Cheju Island.

Parameter	Hanrim harbor n = 142 r = 0.467		Söngsan harbor n = 156 r = 0.492	
	N. coef.	% Importance	N. coef.	% Importance
Dissolved oxygen	-0.681	38.63	-0.629	49.49
Nitrate-N	-0.619	35.11		
Water temperature	0.463	26.26		
Salinity			-0.341	26.83
Phosphate-P			-0.301	23.68

n : Sample size

r : Determination coefficient.

N. coef. : Normalized coefficient.

% Importance=N. coef./Sum of the absolute value of the N. coef. X100.

Probability=0.000

MODEL PHYTO=CONSTANT+WT+SAL+CHL+PH+DO+TN+TP.

Table 3. Varimax rotated factors among abiotic and biotic parameters determined at Hanrim and Söngsan harbor of Cheju Island(1989, 8~1990, 5).

Hanrim harbor			Söngsan harbor		
Parameter	Factor 1	Factor 2	Parameter	Factor 1	Factor 2
T-P	0.921	0.021	WT	0.882	0.066
T-N	0.882	0.234	PHYTO	0.880	-0.109
DO	-0.834	-0.248	SAL	-0.716	0.250
PH	-0.705	0.353	DO	-0.652	0.610
WT	0.040	0.932	T-P	0.251	-0.829
SAL	-0.491	-0.685	PH	0.239	0.807
PHYTO	-0.057	0.607	T-N	0.370	-0.717
CHL	0.114	-0.070	CHL	0.142	-0.045
VA	3.079	1.954	VA	2.631	2.307
PC. VA	38.5	24.4	PC. VA	32.9	28.8
CUMM	38.5	62.9	CUMM	32.9	61.7

VA : Variance explained by rotated loading

PC. VA : Percent of variance

CUMM : Cummulative percent of variance

DO : Dissolved oxygen, T-P : Total phosphorus, SAL : Salinity

PH : pH, WT : Water temperature, T-N : Total nitrogen

CHL : Chlorophyll-a, PHYTO : Standing crops of phytoplankton

제주도 한림항과 성산항 일대 식물플랑크톤의 군집동태

Chaetoceros socialis 등이 두 해역에서 공통적으로 춘계에 75% 이상의 높은 점유율로 우점하고 있었다. 현존량은 한림항에서 3,277~1,952,809, 성산항에서 6,458~1,799,870 cells/ℓ 분포를 보였지만, 대증식의 양상은 한림항은 춘계에 성산항은 추계에 발생하여 계절적으로 다른 양상을 보였다. C-14 법에 의한 일일 기초생산량은 한림항이 0.768~3.119, 성산항이 0.533~5.889 mg C/ m³/day로 성산항이 높았으며 탄소동화율도 성산항이 한림항 보다 높은 값을 나타내었다. 식물플랑크톤과 환경요인과의 상관관계는 한림항은 수온, 용존산소, 총질산-질소($r^2=0.467$), 그리고 성산항은 염분, 용존산소, 총인산-인($r^2=0.492$)의 영향을 받고 있었다. 요인분석에 의한 두 해역의 생태적 특성은 모두 수온의 증가 및 영양염류의 유입과 그로인한 식물플랑크톤의 증가로 나타났다.

사 사

본 연구의 수행중 채집 및 분석에 도움을 준 고희범 군을 비롯한 해양학과 자원생물학 연구실원들께 감사드리며, 해양물리와 해양화학 자료를 제공해 주신 노홍길 교수님과 오윤근 교수님께 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

고유봉·전득산, 1984. 제주도 삼양연안지역에서의 플랑크톤 연구. 제주대 해양연구소 연구보고, 8 : 19~30.
 노홍길·정공훈, 1980. 제주도 연안의 환경특

성에 관한 기초연구 I. 제주대 해양연구소 연구보고, 4 : 1~5.
 박용향, 1985. 조천연안역의 용천수와 해수유동 및 환경요인의 대상분포에 대한 고찰. 제주대 해양연구소 연구보고, 9 : 25~31.
 유광일·홍순우·하영철·이정호, 1975. 플랑크톤 및 기초생산력 조사연구. 호남정유공장을 중심으로한 광양만일대의 수질, 해상 및 생태조사. 과학기술처(STF-74~6), pp.120~135.
 유광일·이준백, 1990. 마산만의 환경학적 연구 4. 1986~1987년간의 해양환경 특성. 한양대학교 환경과학연구소 환경과학논문집, 11 : 55~74.
 이기완, 1979. 제주도 서귀포 연안 식물플랑크톤의 계절변화. 제주대 해양연구소 연구보고, 3 : 23~28.
 이준백, 1989. 제주도 북방 탐동연안해역 식물플랑크톤 군집의 종조성과 동태. 제주대 해양연구소 연구보고, 13 : 35~45.
 이준백·최영찬·고유봉, 1989. 제주도 해안 선주변 식물플랑크톤의 기초생산. 한국지구과학회지, 10 : 62~67.
 전득산·고유봉, 1983. 제주도 주변해역의 chlorophyll-a 함량 분포. 제주대 해양연구소 연구보고, 7 : 23~27.
 전득산·변충규·노섭, 1986. 진주조개(*pinctada fucata*)의 치패 생산 및 양식에 관한 환경학적 연구 - 식물플랑크톤의 현존량과 환경특성. 제주대 해양연구소 연구보고, 10 : 65~73.
 정상철·노홍길·박길순·전득산, 1983. 서귀포 연안해역의 기초생산에 영향을 미치는 해양환경. 한국수산학회지, 16 : 305~315.

- 제주대학교 해양연구소, 1990. 한림항, 성산포항 어업권 피해보상조사. 314 pp.
- 최영찬 · 고유봉 · 이준백, 1989. 제주도 해안선 주변의 해수특성(1987년 6월~1988년 4월). 한국지구과학회지, 10 : 54~61.
- Chin, T.G., Z. Cheng, J. Lin and S. Liu. 1985. The Marine Benthic Diatoms in China. China Ocean Press, Beijing, 313pp.
- Choi, J.k. and J.H. Shim. 1986. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. III. Phytoplankton composition, standing crops, tychopelagic plankton. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 21 : 156~170.
- Cleve-Euler, A. 1955. Die Diatomen von Schweden und Finland. K. Svenska Vetensk-Akad. Handl., ser. 4, I (20)-IV. 5(4).
- Cupp, E.E. 1943. Marine Plankton Diatoms of the West Coast of North America. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr.*, 5 : 1~237.
- Dodge, J.D. 1982. Marine Dinoflagellates of the British Isles. London Stationary Office, 303pp.
- Hendey, N.I. 1964. An Introductory Account of the Smaller Algae of British Coastal Waters. Part V. Bacillariophyceae(Diatoms). Her Majesty's Stationary Office, London, 317pp.
- Hustedt, F. 1927~1961. Die Kieselalgen Deutschlands, Osterreichsmit Berucksichtigung der ubrigen Lander Europas sowie der angren zenden Meeresgebiete. *In* L. Rabenhorst(ed.) Kryptogamen-Flora 7.
- Hustedt, F. 1930. Bacillariophyta (Diatomaeae). Verlag von G. Fischer, 466pp.
- Kokubo, K. 1955. Planktonic Diatoms. Shinkokai, Tokyo, 330pp.
- Lee, J.B. and K.I.Yoo. 1990. Dynamics and seasonal succession of dinoflagellate community in Masan Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 25 : 106~116.
- Lee, M.J., J.H. Shim and C.K. Kim. 1967. Studies on the plankton of the neighboring seas of Korea. Part 1. On the marine conditions and phytoplankton of the Yellow Sea in summer. Report Inst. Mar. Biol. I. 6 : 1~14.
- Parsons, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford, 173pp.
- Shim, J.H. and Y.C. Park. 1984. Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the southwestern sea of Korea in June, 1980. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19 : 68~81.
- Simonsen, R. 1979. The diatom system; Ideas on phylogeny. *Bacillaria*, 2 : 9~71.
- Yamaji, I. 1984. Illustrations of the Marine Plankton of Japan. Hoikusha Publ., Osaka, 537pp.
- Yoo, K.I. and J.H. Lee. 1980. Environmental studies of the Jinhae Bay. 2. Environmental parameters in relation to phytoplankton population dynamics. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 15 : 62~65.