

득량만 남서해역 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포특성

윤양호* · 김동근¹

여수대학교 해양시스템학부, ¹한국해양수산연수원

On the Spatio-temporal Distribution of Phytoplankton Community in the Southwestern Parts of Deukryang Bay, South Korea

Yang Ho Yoon* and Dong Geun Kim¹

Division of Ocean System, Yosu National University, Yeosu 550-749, Korea

¹Fisheries Education Department, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 606-032, Korea

Abstract - The spatio-temporal distribution and seasonal fluctuations of phytoplankton community were carried out in the Southwestern parts of Deukryang Bay of the Korean South Sea from July 1997 to January 1998. A total of 60 species of phytoplankton belonging to 41 genera was identified. In the southwestern parts of Deukryang Bay seasonal succession in dominant species; *Eucampia zodiacus*, and *Chaetoceros* spp. in summer, *Nitzschia longissima*, *Chaetoceros curvisetus* and *Bacillaria paxillifera* in autumn, *Skeletonema costatum* and *B. paxillifera* in winter, were very predominant. The community structure of phytoplankton in the southwestern parts of Deukryang Bay appeared to be diverse in species composition, and diatoms were most dominant through the year. Phytoplankton standing crops fluctuated with an annual mean of 1.2×10^5 cells L^{-1} between the lowest value of 8.0×10^3 cells L^{-1} in January and the highest value of 6.9×10^5 cells L^{-1} by *Nitzschia longissima* in January. Densities of the phytoplankton cell number by the samples of the southwestern parts of Deukryang Bay ranged from 1.1×10^4 cells L^{-1} to 1.3×10^5 cells L^{-1} with the mean value of 4.1×10^4 cells L^{-1} in summer, from 1.0×10^4 cells L^{-1} to 6.9×10^5 cells L^{-1} with mean of 1.8×10^5 cells L^{-1} in autumn, from 8.0×10^3 cells L^{-1} to 4.6×10^5 cells L^{-1} with mean 1.6×10^5 cells L^{-1} in winter. That is to say, phytoplankton standing crops was high in low temperature seasons, while low in high temperature seasons. Chlorophyll *a* concentration fluctuated between 1.08 mg m^{-3} and 21.6 mg m^{-3} in January. In the southwestern parts of Deukryang Bay temporal change in chl-*a* concentration was not apparent. But chl-*a* concentration was high during a year. Therefore, phytoplankton production in the southwestern parts of Deukryang Bay could be very high year-round.

Key words : Deukryang Bay, phytoplankton community, spatio-temporal distribution, dominant species, diatoms, *Skeletonema costatum*, cell density, chlorophyll *a*

* Corresponding author: Yang Ho Yoon, Tel. 061-659-3142, Fax. 061-652-1708, E-mail. yhyoon@yosu.ac.kr

서론

득량만은 우리나라 남서 연안해역에 위치하여, 지형적으로는 만의 남쪽 입구에서 30 km 정도 북동쪽으로 합몰되어 있고, 남쪽 입구를 통해 해수교환이 이루어지기에 폐쇄성이 매우 강한 특징을 나타낸다. 만의 구조는 내만 해역과 만의 중앙부를 따라 북서쪽 연안은 수심이 5 m 이하로 얕은 천해해역을 이루고 있어, 오래 전부터 각종 패류의 중·양식장으로 이용되고 있다. 그리고 만 입구인 거금도와 금당도 사이의 수로에서 만 중앙에 위치하는 득량도까지의 남동 해역은 20 m 이상의 깊은 골을 형성하여 수로를 형성하고 있다. 또한 만입구에서 수심이 깊은 고홍반도 연안에서는 김양식이 성행하고 있는 것에 반해, 금당도 서쪽에서 만 내외의 해역은 수심의 얕고 크고 작은 섬들이 다수 산재하고 있어, 매우 넓은 해역에서 미역, 다시마, 김 등 해조류 양식이 성행하고 있다(Fig. 1). 그리고, 내만과 장흥군 및 보성군에 인접하는 북서 천해해역에서는 피조개, 키조개, 꼬막 등 패류양식이 성행하고 있어, 만내 대부분의 해역은 수산 중·양식장인 생물 생산장으로서 이용되고 있다. 또한, 아직까지 득량만 연안부에는 임해공업단지나 대규모 도시가 형성되어 있지 않아, 산업폐수 유입이 적고, 비교적 양호한 수질을 나타내고 있기에 수산자원생물의 산란·성육장으로서 이용되고 있어, 수산자원의 보호·관리적인 측면에서도 매우 중요한 해역이라 할 수 있다.

그러나, 이와 같은 조건을 구비하고 있음에도 아직까지 득량만을 대상으로 실시한 과학적인 연구보고는 매우 미흡한 실정이며(Cho *et al.* 1982), 다만, 최근 1991년부터 수년간 부경대학교 해양산업개발연구소에서 연안 어장의 생산성향상을 위해 실시한 조사결과로서, 만 내의 수온, 염분 분포, 조석 및 해수유동에 대한 물리해양학적 내용(정 등 1994; 김 등 1995; 이 등 1995; Lee and Cho 1995; 최와 홍 1997; Hong and Choi 1997), 영양염류 분포 및 용출에 대한 화학해양학 특성(양 등 1995; 김과 박 1998) 및 저서동물과 동물플랑크톤 분포에 대한 생물학적 조사보고(마 등 1995; 한 등 1995)가 보여지고 있다. 그러나, 식물플랑크톤을 포함한 해양생태계의 저차 영양단계에 속하는 생물생산에 관한 연구보고는 매우 미흡하여, 1980년대 초 원자력 발전소 적지조사를 위해 만의 일부해역에서 이루어진 보고(이와 허 1983)와 만 전 해역을 대상으로 한 보고(윤 1999)가 보여질 뿐이다.

따라서 본 연구는 패류 및 해조류 양식어장으로 활발히 이용되고 있는 득량만 남서해역을 대상으로 식물플

랑크톤 군집의 시·공간적인 분포특성을 파악하여 해당 해역의 저차 생태구조 및 생물생산 기구해석에 도움이 될 수 있는 생물해양학적 환경특성을 고찰하여 보고자 한다.

재료 및 방법

식물플랑크톤의 종조성과 출현량 등 군집구조 및 생물량 파악에 의한 생물해양학적 환경특성을 파악하기 위한 현장은 1997년 7월 18일(여름), 1997년 10월 18일(가을) 및 1998년 1월 14일(겨울) 등 3회에 걸쳐 Fig. 1의 25개 정점을 대상으로 용선한 소형 선박을 이용하여 실시하였다. 식물플랑크톤 군집구조 파악을 위한 표본은 15개 정점의 표층해수를 채수하는 채수법에 의하였다. 표본은 현장에서 해수 300 ml를 폴리에틸렌 표본병에 넣어 중성포르마린으로서 최종농도가 0.4%되게 고정하였다(Thronsdon 1978). 고정된 해수는 실험실에서 250

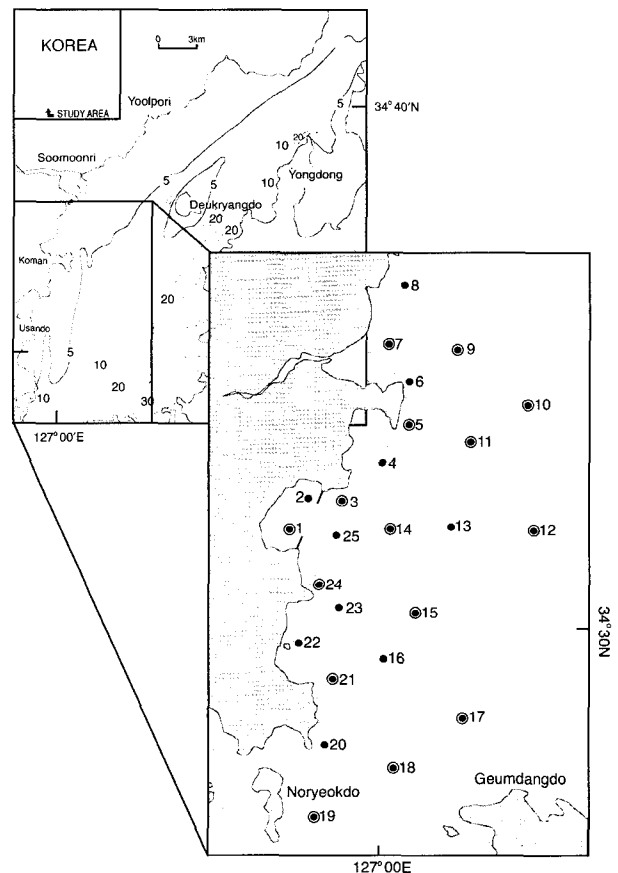


Fig. 1. Maps showing bathymetry and sampling stations in Deukryang Bay. (© phytoplankton sampling stations)

ml를 취해 공경이 5.0 μm , 직경이 47 mm인 박막여과지가 장착된 여과기를 이용하여, 자연낙하방법에 의하여 최종농도가 5 ml 되도록 농축하였다. 검정시료는 농축된 시료 0.1 ml를 마이크로 피펫을 이용하여 정확히 계수판에 취하고, 광학 현미경하에서 종의 동정과 출현 세포수를 계수하였다(飯塚 1986).

그리고 식물플랑크톤 생물량을 나타내는 Chlorophyll *a* (Chl-*a*) 농도는 대조 시를 선택하여 van Dorn 채수기로 표층과 해저보다 1 m 위의 수층을 대상으로 실시하였다. Chl-*a*의 분석은 해수 500 ml를 공경이 0.45 μm 인 박막여과지(Φ : 47 mm)를 이용하여 흡입 여과시킨 여지를 90%(v/v)농도의 아세톤을 용매로 하여 냉암소에서 2 시간 이상 색소를 추출시켰다. 추출된 시료는 원심분리기를 이용하여 불순물을 분리(3,000 rpm, 10 min.)시킨 다음, 상등액을 이용하여 분광광도계(Kontron, Unikon 922)에서 흡광도를 측정하여, 경험식에 의해 Chl-*a* 농도를 산출하는 SCOR-Unesco(1966)방법에 의하였다.

결과 및 고찰

1. 식물플랑크톤 출현 종조성

특량만 남서해역에서 출현이 확인된 식물플랑크톤 종을 Park and Dixon(1976)과 Hartley(1986) 및 Tomas(1997)의 분류체계에 의해 정리하면 5식물문, 6식물강, 11식물목, 23과, 41속, 60종이 동정되었다. 이와 같은 결과는 기존의 한국 연안해역 식물플랑크톤 출현 종 수와 비교하여 비교적 다양한 생물 상에 의해 구성되고 있다고 할 수 있다(Shim and Park 1984; 심과 신 1984; 윤 등 1992; 윤 1995, 1998c, 1999).

분류군 별로는 규조류가 24속, 38종으로 전체 출현 종 중 63.3%의 점유율을 차지하여, 규조류에 의한 점유율이 매우 높게 나타났다. 다음으로 와편모조류가 9속 17종으로 28.3%의 점유율을, 규질편모조류가 3속, 3종으로 5.0%의 점유율, 유글레나조류와 녹조류가 각각 1속 1종으로 1.7%의 점유율을 나타내었다(Fig. 2). 즉, 한국 남해 해역의 식물플랑크톤 군집 중 연중 규조류에 의한 점유율이 한국외양 연안해역에서 57.5%(윤 등 1992), 전남동부 내만 해역인 가막만의 북부해역에서 45.7%(윤 1995)와 남부해역에서 68.3%(윤 1998b), 조사해역과 인접한 거금수도과 특량만 전역에서 각각 66.1%(윤과 고 1995)와 57.3%(윤 1999) 및 완도 신지도 연안에서 53.5%(윤 1998a)와 같이 내만해역의 결과와는 유사하나, 한국 남서 연안해역에서 여름철 80.5%, 와편모조류가 16.3%(Shim and Park 1984), 겨울에도 규조류가

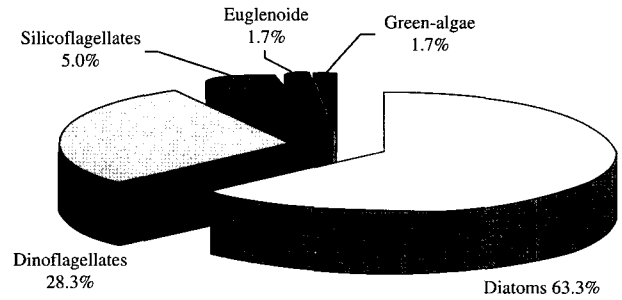


Fig. 2. Species composition of phytoplankton in the southwestern parts of Deukryang Bay.

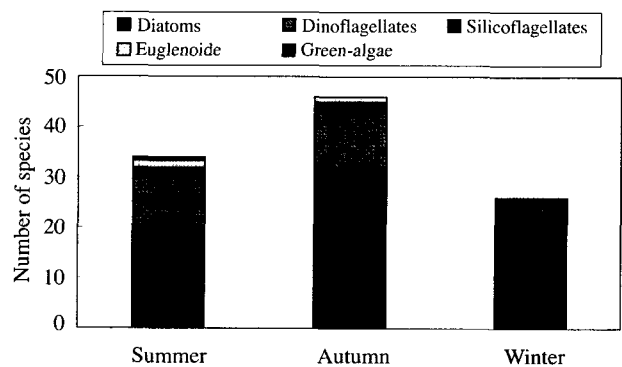


Fig. 3. Seasonal changes of phytoplankton species composition in the southwestern parts of Deukryang Bay.

81.2%, 와편모조류가 17.6%(김과 윤 1997)의 비율로 출현하고 있다는 결과와는 다소 차이를 보인다.

이와 같은 차이는 내만 해역이라 할지라도 해역과 계절에 따라 다른 결과를 보여주고 있는 것은 중위도 온대해역은 연중 규조류에 의해 높게 점유되며, 단지 고수온기에는 와편모조류 등, 식물성 편모조류의 출현이 높게 나타나는 것을 의미하지만(Nybakken 1993), 한국 연안해역에서도 규조류는 계절에 관계없이 비교적 오랜 기간 높은 점유율로 출현하며, 식물성 편모조류는 한정된 계절에 단기적으로 높게 출현하는 경향을 나타내고(윤 등 1992; 윤 1995, 1999) 있기 때문이라 할 수 있다.

2. 식물플랑크톤 군집의 시간적 출현특성

식물플랑크톤 출현 종의 계절변화는 여름에 25속 34종, 가을에 32속 46종, 그리고 겨울에 20속 26종이 출현하여, 가을철에 가장 많고 겨울에 낮은 종 출현 특성을 나타내며, 특히 겨울철에는 와편모조류 등 식물성 편모조류의 출현이 매우 낮은 특성을 보였다(Fig. 3). 이와 같은 결과는 청정해역을 나타내는 제주 북부해역이나

Table 1. Temporal variations of phytoplankton species in southwestern parts of Deukryang Bay

Species name	Summer	Autumn	Winter	Species name	Summer	Autumn	Winter	
DINOPHYCEAE				<i>Eucampia</i>	<i>zodiacus</i>	*	*	*
<i>Amylax</i>	<i>triacantha</i>	*		<i>Guinadia</i>	<i>flaccida</i>	*	*	*
<i>Ceratium</i>	<i>furca</i>	*	*	<i>G.</i>	<i>striata</i>	*	*	*
<i>C.</i>	<i>kofoidii</i>		*	<i>Hemiaulus</i>	<i>sinensis</i>	*	*	*
<i>C.</i>	<i>pentagonum</i>		*	<i>Leptocylindrus</i>	<i>danicus</i>	*	*	*
<i>Dinophysis</i>	<i>acuminata</i>	*		<i>Melosira</i>	sp.		*	*
<i>D.</i>	<i>caudata</i>		*	<i>Odontella</i>	<i>mobiliensis</i>		*	
<i>D.</i>	<i>rodundata</i>	*		<i>O.</i>	<i>sinensis</i>		*	
<i>Gymnodinium</i>	<i>catenatum</i>		*	<i>O.</i>	sp.			*
<i>Gy.</i>	<i>sanguineum</i>		*	<i>Proboscia</i>	<i>alata</i>		*	*
<i>Gy.</i>	sp.	*		<i>Pseudosolenia</i>	<i>calar-avis</i>		*	
<i>Gyrodinium</i>	<i>falcatum</i>		*	<i>Rhizosolenia</i>	<i>setigera</i>		*	*
<i>Noctiluca</i>	<i>scintillans</i>	*	*	<i>Thalassiosira</i>	<i>rotula</i>		*	
<i>Prorocentrum</i>	<i>micans</i>		*	<i>T.</i>	spp.			*
<i>P.</i>	<i>minimum</i>			*		*	*	*
<i>P.</i>	<i>triestinum</i>	*	*	<i>Skeletonema</i>	<i>costatum</i>	*	*	*
<i>Protoperdinium</i>	spp.	*	*	<i>Stephanophyxis</i>	<i>palmeriana</i>	*	*	
<i>Scrippsiella</i>	<i>trichoidea</i>	*		<i>Streptotheca</i>	<i>tamesis</i>	*		
CHRYSOPHYCEAE				BACILLARIOPHYCEAE (PENNALES)				
<i>Dictyocha</i>	<i>fibula</i>	*	*	*			*	*
<i>D.</i>	<i>speculum</i>	*		<i>Asterionellopsis</i>	<i>glacialis</i>		*	*
BACILLARIOPHYCEAE (CENTRALES)				<i>A.</i>	<i>kariana</i>		*	*
<i>Actinocyclus</i>	<i>senarius</i>		*	<i>Bacillaria</i>	<i>paxillifera</i>	*	*	*
<i>Bacteriastrium</i>	sp.	*	*	<i>Licmophora</i>	<i>abbreviata</i>			*
<i>Chaetoceros</i>	<i>affinis</i>		*	<i>Neodelphineis</i>	<i>pelagica</i>	*	*	*
<i>Ch.</i>	<i>debilis</i>		*	<i>Nitzschia</i>	<i>longissima</i>	*	*	*
<i>Ch.</i>	<i>curvisetus</i>	*	*	<i>Pseudo-nitzschia</i>	<i>pungens</i>	*	*	*
<i>Ch.</i>	<i>lorenzianus</i>	*	*	<i>Thalassionema</i>	<i>frauenfeldii</i>		*	
<i>Ch.</i>	spp.	*	*	<i>Th.</i>	<i>nitzschioides</i>	*	*	
<i>Corethron</i>	<i>pelagicum</i>		*	EUGLEOPHYCEAE				
<i>Cosinodiscus</i>	<i>gigas</i>	*	*	<i>Eutreptiella</i>	<i>gymnastica</i>		*	*
<i>C.</i>	sp.	*	*	CHLOROPHYCEAE				
<i>Dactylisolen</i>	<i>flagillissimus</i>	*	*	<i>Scenedesmus</i>	sp.		*	
<i>Ditylum</i>	<i>brightwellii</i>	*	*	ZOOMASTIGOPHOREA				
				<i>Ebria</i>	<i>tripartita</i>	*	*	*

가막만에서 주간단위의 조사결과나 인근해역의 계절조사와는 유사하였다(윤 등 1992; 윤과 고 1995; 윤 1995, 2000). 다만, 득량만 전 해역을 대상으로 하여 출현 종이 여름에 비교적 높고, 봄에 낮게 나타났던 결과와는 다소 다른 내용이다(윤 1999). 이와 같은 차이는 우리나라 연안해역의 식물플랑크톤 군집 연구 대부분이 계절조사로, 조사간격이 식물플랑크톤의 세대시간이나 분포변동 패턴을 충실히 표현할 수 있는 기간 내에 있지 않기 때문으로, 해역에 따른 차이보다 조사시점의 차이에서 오는 결과라고 할 수 있다(윤 1999).

득량만 남서해역에서 3회 관찰된 종은 규질편모조류인 *Dictyocha fibula*, 동물성 편모조류인 *Ebria tripartita*, 중심목 규조인 *Chaetoceros curvisetus*, *Ditylum brightwellii*, *Eucampia zodiacus*, *Guinadia flaccida*, *Hemiaulus sinensis*, *Skeletonema costatum*, 우상목 규조인

Bacillaria paxillifera, *Neodelphineis pelagica*, *Nitzschia longissima*, *Pseudo-nitzschia pungens* 등 11종으로, 최근 윤(1999)에 의해 보고된 득량만 대표종과 유사하였다(Table 1). 또한 전반적으로는 규조류에 의한 출현빈도가 높으며, 여름과 가을에는 비교적 와편모조류 종 출현이 다양하여, 남해의 내만해역적 특성으로 보였다(윤과 고 1995; 윤 1995, 1999, 2000). 특히, 득량만 인근해역(윤과 고 1995; 윤 1999)은 *D. fibula*, *D. speculum*, *E. tripartita*과 같은 규질편모조류가 비교적 많은 양으로 연간 출현하는 특성을 보이고 있다. 규질편모조류는 남해 연안에서 계절에 관계없이 쉽게 관찰되고는 있으나, 고흥반도 인근해역에서는 매우 높은 세포밀도를 나타낸다(윤 1999). 특히, 이들 규질편모조류는 이례적이기는 하나 폐쇄성의 강한 내만 해역이나 유럽연안에서 적조를 발생시켜 수산피해를 발생시키는 종으로도 알려져

있다(Tsujita 1956; Moestrup and Thomsen 1990).

3. 우점종의 변화

계절에 따른 우점종의 천이는 여름인 7월은 중심목 규조류인 *Eucampia zodiacus*가 전 해역에서 우점하여 평균 51.6%의 우점율을 보였으며, 가을인 10월은 해역에 따라 다소 차이는 있으나, 전체적으로는 우상목 규조류인 *Nitzschia longissima*와 중심목 규조류인 *Chaetoceros curvisetus*가 정점 평균으로 각각 33.5%와 23.9%의 우점율을 나타내었다. 그리고 겨울인 1월은 정점에 따라 큰 차이를 보이나, 평균적으로 중심목 규조류인 *Skeletonema costatum*가 69.8%의 우점율을 나타내었다(Table 2).

이와 같은 결과는 한국 남해의 중앙부에서 서부 연안 해역, 즉 가막만(윤 1995), 화태연안(윤 1998b), 거금수도과 득량만(윤과 고 1995; 윤 1999), 완도연안(윤

1998a), 해남의 시아해(윤 1998c) 등에서 봄에는 주로 중심목 규조류인 *S. costatum*, 우상목 규조류인 *Asterionellopsis*속과 *Thalassionema*속에 의해, 여름에는 중심목 규조류인 *S. costatum*과 *Chaetoceros*속, 그리고 일부 와편모조류에 의해, 가을에는 중심목 규조류인 *Leptocylindrus*속, *Chaetoceros*속, *Rhizosolenia*속 및 *Paralia*속, 그리고 우상목 규조류인 *Bacillaria*속과 *Pseudo-nitzschia*속에 의해, 겨울에는 중심목 규조류인 *S. costatum*, *E. zodiacus*, *Chaetoceros*속과 *Leptocylindrus*속, 그리고 우상목 규조류인 *Thalassionema*속에 의해 주로 우점되고 있다는 결과 및 중위도 온대해역에서는 여름철 일부에서 와편모조류에 의한 우점 현상 이외에는 연간 규조류에 의해 우점된다는 내용(Nybakken 1993)과 전 반적으로는 유사한 내용이다.

그리고 득량만에서 보여지는 우점종 대부분은 인접하는 남해연안에서 우점종으로 출현하는 종들이나 해역에 따라서는 출현시기를 다소 달리하고도 있다(윤 1995, 1998a, b, c, 1999). 특히 *S. costatum*은 동계에 득량만 내부해역에서 적조를 발생시키고 있는 종으로 보고하고 있으며(이와 허 1983), 본 조사에서도 겨울철 본 종에 의한 우점율이 매우 높게 나타났다.

4. 식물플랑크톤 현존량

식물플랑크톤 현존량은 시·공간적으로 큰 차이를 나타내어 6.0×10^3 cells L⁻¹에서 686.6×10^3 cells L⁻¹로 변동하였다. 계절별로는 여름이 10.8×10^3 cells L⁻¹에서 130.8×10^3 cells L⁻¹, 가을이 10.0×10^3 cells L⁻¹에서

Table 2. Seasonal changes of phytoplankton dominant species in the southwestern parts of Deukryang Bay

Seasons	Dominant species	
Summer	<i>Eucampia</i>	<i>zodiacus</i>
	<i>Chaetoceros</i>	spp.
Autumn	<i>Nitzschia</i>	<i>longissima</i>
	<i>Cheatoceros</i>	<i>curvisetus</i>
	<i>Bacillaria</i>	<i>paxillifer</i>
Winter	<i>Skeletonema</i>	<i>costatum</i>
	<i>Bacillaria</i>	<i>paxillifer</i>

Table 3. Temporal changes of the values such as minimum, maximum, mean and standard deviation of phytoplankton cell numbers in the southwestern parts of Deukryang Bay

Season	Taxon	No. of stations	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation
			($\times 10^3$ cells L ⁻¹)			
Summer	Centric diatoms	15	8.6	124.2	37.2	31.3
	Pennate diatoms		—	3.6	1.7	1.3
	Dinoflagellates		0.8	3.8	1.8	1.0
	Other phytoflagellates		—	0.8	0.3	0.3
	Sub-total		10.8	130.8	41.0	32.1
Autumn	Centric diatoms	14	6.6	106.8	49.6	25.4
	Pennate diatoms		1.4	630.0	128.4	179.5
	dinoflagellates		—	2.4	0.7	0.6
	Other phytoflagellates		—	1.4	0.3	0.4
	Sub-total		10.0	686.6	179.1	183.5
Winter	Centric diatoms	11	2.8	451.2	142.3	157.7
	Pennate diatoms		0.2	10.8	2.7	2.8
	Dinoflagellates		—	0.6	0.2	0.2
	Other phytoflagellates		—	0.4	0.2	0.2
	Sub-total		8.0	455.6	145.4	159.7

$686.6 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$, 그리고 겨울철이 $6.0 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$ 에서 $455.6 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$ 의 범위로 가을과 겨울에 높고, 여름철에 낮은 현존량을 나타내었다 (Table 3과 Fig. 4).

즉, 전 계절 구조류에 의한 출현밀도가 매우 높게 나타났으며, 분류군별로는 여름과 겨울은 중심목 구조류가 가을은 우상목 구조류의 출현 밀도가 높은 특징을 보였다. 또한 외편모조류를 포함한 식물성 편모조류는 저수온기인 겨울보다 여름과 가을에 비교적 높은 세포밀도를 나타내었다. 그리고, 공간적으로는 여름에 비교적 균일한 분포양상을 나타내고 있는 것에 반해 가을과 겨울에 정점간에 큰 차이로 분포하였다 (Table 3).

시·공간적 분포특성은 여름의 경우 전체적으로는 남부해역인 노력도 및 금당도 인근해역에서 100.0×10^3

cells L^{-1} 이상으로 높고, 중앙부에서 $30.0 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$ 이상으로 비교적 높은 출현밀도를 보이나, 삼산연안에서는 $30.0 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$ 이하의 낮은 출현밀도를 나타내었다. 한편, 여름철에 비교적 높은 세포밀도로 출현하는 와편모조류의 경우, 조사해역의 남부와 북동부 해역에서 $2.0 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$ 이상의 높은 출현밀도를 보이고 있으나, 죽정리 인근과 조사대상의 동부 해역에서는 $1.0 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$ 이하의 값을 나타내고 있는 것으로부터 본해역의 해양환경은 득량만 및 인근해역의 물리화학적 특성에서 보여지는 것(양 등 1995; 윤 등 2000)과 같이 외부에서 연안으로 수괴가 확장되는 것으로 판단할 수 있었다 (Fig. 5, A).

가을은 삼산연안에서 $500.0 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$ 이상이 높은 출현밀도를 보이며, 외부로 갈수록 밀도가 낮아져 동남부 해역에서는 $50.0 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$ 이하의 출현밀도를 보였다 (Fig. 5, B). 특히 가을철 최우점중으로 출현한 우상목 구조류인 *Nitzschia longissima*의 경우 죽정리에서 신상리에 거친 육지부의 인접해역에서 $100.0 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$ 이상의 출현밀도를 나타내는 반면, 기타 연안부에서 $10.0 \times 10^3 \text{ cells L}^{-1}$ 이하의 출현밀도를 나타내어 연안 간척지를 중심으로 한 육수의 확장범위를 표현하는 양상으로 본해역의 수형 차이에 의해 10배 이상의 출현밀도 차이를 보였다 (Fig. 6). 즉, 이와 같은 결과는 동시 측정된 수온, 염분 등의 물리화학적 환경과도 유사한 결과를 나타내고 있어(여수대학교 수산과학연구소 미발표자료), *N. longissima*는 본해역에서 시기적으로는 환경 지표 생물로서 이용될 가능성을 시사하는 것으로 판단할

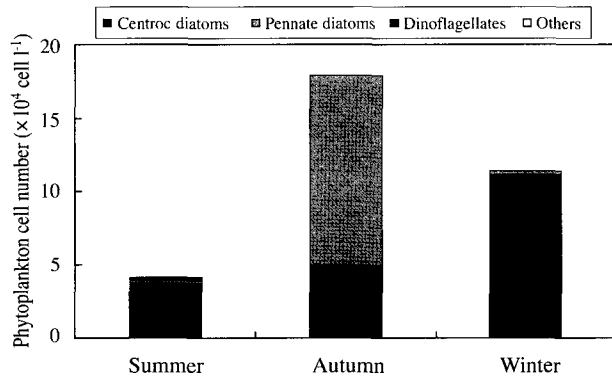


Fig. 4. Temporal change of phytoplankton standing crops (cells ml⁻¹) in the southwestern parts of Deukryang Bay.

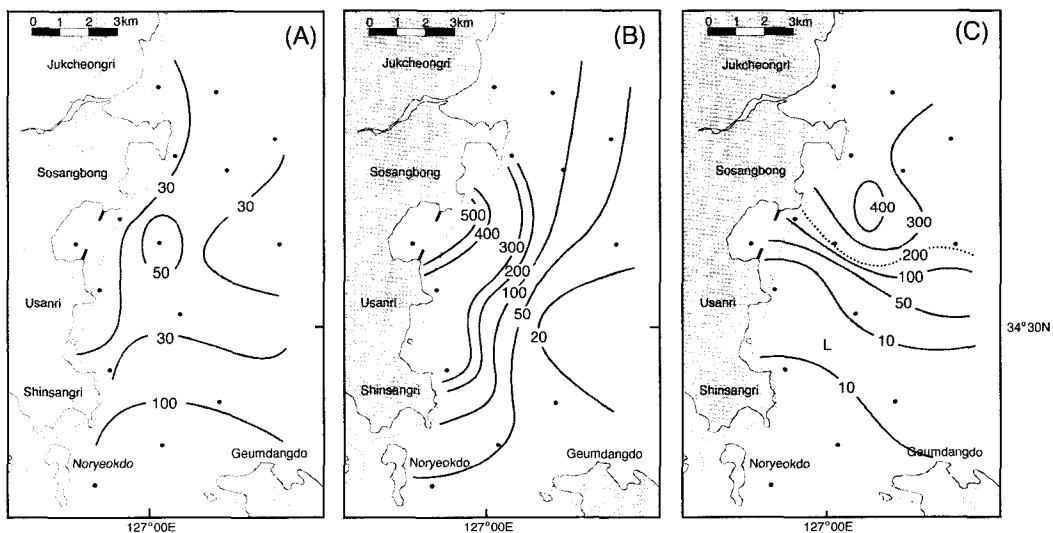


Fig. 5. Horizontal distribution of phytoplankton standing crops (cells ml⁻¹) in the southwestern parts of Deukryang Bay (A: summer, B: autumn, C: winter)

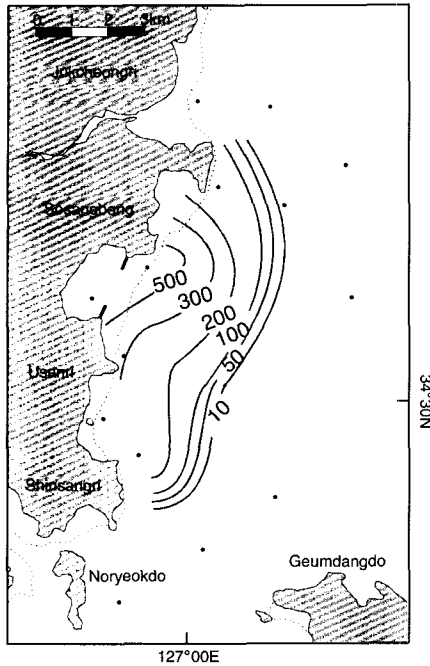


Fig. 6. Horizontal distribution of pennate diatom (cells ml^{-1}), *Nitzschia longissima* in autumn season.

수 있었다.

겨울은 중앙부에서 북부해역에서는 100.0×10^3 cells L^{-1} 이상이 매우 높은 출현밀도를 나타내나, 남쪽해역에서는 10.0×10^3 cells L^{-1} 내외의 밀도로 가을과는 달리 남북으로 급격한 출현밀도의 구배를 나타내었다. 특히 북쪽해역은 중심목 규조인 *Skeletonema costatum* 1종에 의한 우점 현상과 파편상의 *Thalassiosira* sp., *Melosira* sp. 등의 중심목 규조가 관찰되고 있는 것으로부터 본 해역은 낮은 수심에 조석 등 외력에 의해 천해 퇴적층이 쇄굴되어 표층으로 재 부유되는 결과를 나타내는 것으로 판단되었다 (Fig. 5, C). 즉, 득량만은 대조와 소조의 조석혼합에 의해 성층의 형성과 파괴가 반복된다는 보고 (Lee and Cho 1995) 등이 이와 같은 가능성을 증명하고 있다고 할 수 있다.

이와 같은 식물플랑크톤 세포밀도는 우리나라 연안해역 중에 비교적 외해나 외해의 영향을 직접 받는 해역 및 임해산업단지가 조성되어 있지 않은 남해 서부해역의 연안, 내만 해역에서의 10^3 cells L^{-1} 에서 10^6 cells L^{-1} 단위 출현밀도와는 유사하나 (Shim and Park 1984; 김과 윤 1997; 윤 1998a, 1999), 부영양화가 진행되고 있는 우리나라 연안, 내만 해역에서의 최대 출현밀도 10^6 cells L^{-1} 이상보다는 낮은 밀도이다 (심 등 1992; 심 등 1984; 심과 신 1989; 윤 등 1992; 윤 1995; 윤과 고 1995; 윤

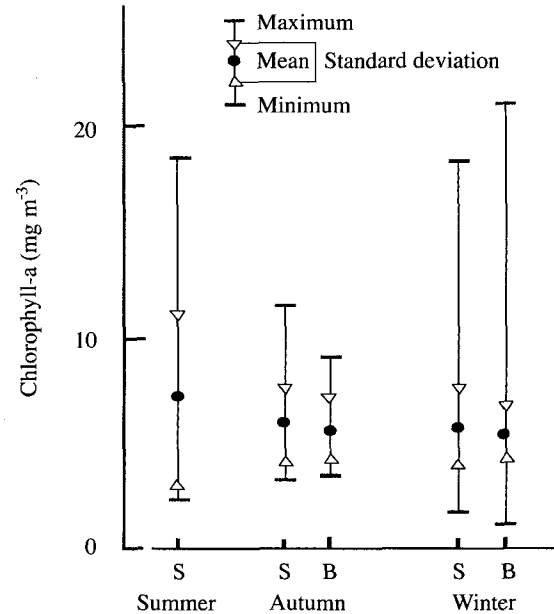


Fig. 7. Temporal change of chlorophyll *a* in the southwestern parts of Deukryang Bay.

1998c). 특히, 통산산업부 등(1996)의 보고에 의하면 최근 우리나라 대부분의 연안해역은 각종 생활하수, 산업 폐수, 그리고 어류 및 패류양식에 의한 자가오염현상 등으로 해역의 부영양화가 급속히 진행되고 있고, Iizuka (1985)는 일본의 연안해역에서 식물플랑크톤의 최고 출현 세포수에 대한 설문조사 결과 93해역의 응답 중 10^6 cells L^{-1} 이상의 출현밀도를 나타내는 곳이 89.2%였고, 10^5 cells L^{-1} 이하의 출현밀도는 10.8%에 해당되고 있음을 보고하고 있는 것으로부터 득량만 북서천해해역의 출현밀도는 낮은 값으로 아직 해역의 부영양화 정도가 심하지는 않은 것으로 판단할 수 있다 (Yoshida 2000).

5. Chlorophyll *a*

종합적인 식물플랑크톤 생물량의 지표로서 Chlorophyll *a* 농도는 조사시점에 관계없이 높은 농도를 나타내었다. 즉 표층해수의 경우 여름은 2.73 mg m^{-3} 에서 18.60 mg m^{-3} ($7.23 \pm 3.65 \text{ mg m}^{-3}$), 가을은 3.62 mg m^{-3} 에서 11.75 mg m^{-3} ($6.34 \pm 2.03 \text{ mg m}^{-3}$) 그리고, 겨울은 1.48 mg m^{-3} 에서 18.07 mg m^{-3} ($6.44 \pm 5.87 \text{ mg m}^{-3}$)로 변화하여, 평균적으로는 여름에 다소 높고 가을과 겨울은 유사한 결과를 나타내었다. 그러나 공간적 분포 경향은 가을에 비교적 정점간 분포가 균일한 양상을 보이는 반면, 여름과 겨울에는 정점간 차이가 매우 크게 나타났다. 특히 그 경향은 겨울에 더욱 현저하였다 (Fig. 7).

공간적인 분포 경향은 여름의 경우 연안간척이 이루어지는 우산리 연안에서 10.0 mg m^{-3} 이상의 매우 높은 농도를 나타내었고, 우산리 연안에서 북쪽 해안선을 따라 6.0 mg m^{-3} 이상이 비교적 높은 생물량을 나타내었다. 그리고, 남동쪽의 금당도 인근해역에서 9.0 mg m^{-3} 이상의 생물량을 보이는 반면, 북동쪽인 신상리 인근해역에서 5.0 mg m^{-3} 전후의 상대적으로 낮은 생물량을 나타내었다(Fig. 8, A).

가을은 표층 해수의 경우 우산리 인근에서 10.0 mg m^{-3} 이상의 매우 높은 생물량을 나타내며, 중앙부 해역에서 6.0 mg m^{-3} 내외의 농도를, 그리고, 남쪽인 신상리와 금당도 연안해역에서 5.0 mg m^{-3} 이하의 상대적으로 낮은 생물량을 나타내었다(Fig. 8, B upper). 저층은 전반적으로 표층과 유사하여, 우산리 인근해역에서 7.0 mg m^{-3} 이상의 높은 Chl-*a* 농도를 나타내며, 중앙부와 남쪽 해역에서 5.0 mg m^{-3} 전후의 농도를 나타내어 높은 기초 생물량을 보였다(Fig. 8, B lower).

겨울은 표층의 경우, 북부해역에서 10.0 mg m^{-3} 이상의 매우 높은 생물량을 나타내나, 남부해역은 3.0 mg m^{-3} 이하의 상대적으로 낮은 생물량을 나타내어, 남부와 북부해역에서 심한 Chl-*a* 농도 차이를 나타내었다(Fig. 8, C upper). 그리고 저층은 표층과 매우 유사한 분포패턴을 보였다(Fig. 8, C lower).

그러나, 이와 같은 높은 Chl-*a* 농도에 비해 식물 플랑크톤 세포밀도는 매우 낮게 나타나, 모순된 특성을 나타내고 있으나, 이는 비교적 영양염 농도가 낮은 Funke 만에서 여름철 ^{14}C 흡수에 의해 크기별 식물플랑크톤의 생산력을 파악하여, 중앙부 해역에서는 전체 식물플랑크톤 생산력 중의 약 60%가 연안해역에서는 약 45%가 $2 \mu\text{m}$ 이하의 극미소 식물플랑크톤에 의해 점유되고 있다는 Maita and Odate (1988)의 보고나, 부영양화가 진행된 일본의 Osaka 만에서 Chl-*a* 농도에 의해 전 식물플랑크톤 생물량 중 평균 43%가 미소플랑크톤인 Nanoplankton에 의해 점유되고 있다는 Yamaguchi and Imai

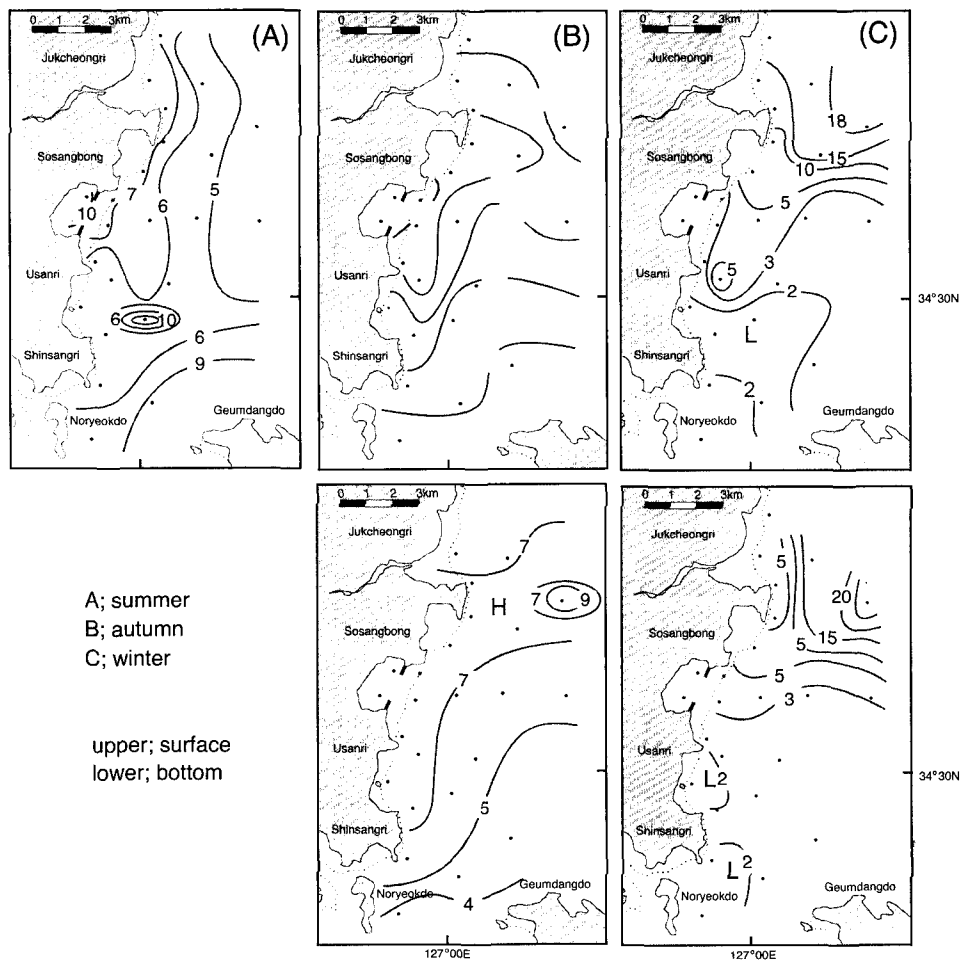


Fig. 8. Horizontal distributions of chlorophyll *a* concentration in the southwestern parts of Deukryang Bay.

(1996)의 보고로부터 득량만 북서 천해해역의 경우에도 낮은 영양염농도(양 등 1995)와 부정기적인 외부 영양염 공급 등으로 식물플랑크톤 군집에서는 현미경 관찰이 어려운 극미소 및 미소 플랑크톤에 의한 점유율이 연중 높게 나타나고 있으며, 이들 미소 플랑크톤에 의한 Chl-*a* 농도가 높아 광학현미경에 의한 조사 방법으로는 상당부분의 현존량이 과소 평가 되고 있기 때문에 판단된다(Larsson and Hagatrom 1982; 심과 신 1989; 심 등 1992; 윤 1999, 2000). 즉, 득량만 남서부해역의 기초생산 비율은 대형 식물플랑크톤 보다도 미소 또는 극미소 식물플랑크톤에 의한 점유율이 매우 높은 것으로 판단할 수 있다.

그리고, 겨울철 높은 생물량을 나타내는 것에 대하여 이와 허(1983)는 이상 고온 현상에 의한 규조류, *S. costatum*의 대발생 등 일시적인 현상이라 하고 있으나, 한국 남해 연안해역은 낮은 수심에 활발한 해수혼합과 충분한 광량 등 해양환경 특성으로 인하여, 겨울철이 타 계절보다 높은 생물량이 쉽게 관찰되고 있으며(윤 1995, 1998a), 특히 저층에서 조석혼합 등 외력에 의한 표층퇴적물의 재부유 등에 의해 표층보다 높은 생물량의 관찰은 남해 천해 내만해역에서의 일반적인 현상이라 할 수 있다(윤과 고 1995; 윤 1998a, b, c, 1999).

결 론

득량만 남서해역의 식물플랑크톤 군집은 남해서부의 내만 해역들과 유사한 특성을 나타내어 비교적 다양한 생물종에 의한 군집구조를 나타내나, 낮은 세포밀도를 보였다. 특히, 시간적으로 세포밀도는 가을에 높고, 여름에 낮아 해역별로 규칙적인 시간적 변동특성은 보이지 않으나, 연중 규조류에 의해 지배되었다. 또한, Chl-*a* 농도와 식물플랑크톤 세포밀도의 출현 및 분포특성은 서로 다르게 나타나고 있으나, 득량만 남서해역의 식물플랑크톤 잠재생산력은 연중 매우 높으며, 식물플랑크톤의 크기에 의한 생산잠재 능력은 낮은 영양염 등 비생물학적 환경요인들에 의해 대형 식물플랑크톤보다 미소 또는 극미소 식물플랑크톤에 의한 점유율이 높은 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

김대일, 윤양호 1997. 식물플랑크톤 군집구조로 본 초겨울 한국 남서해역의 해양환경 특성. 여수수산대학교 수산과학

- 연구소 연구보고. 6:85-93.
- 김도희, 박청길. 1998. 득량만 퇴적물로부터 영양염 용출 평가. 한국환경과학회지. 7:425-431.
- 김상우, 조규대, 노홍길, 이재철, 김상현, 신상일. 1995. 1992-93년 하계 득량만의 수온과 염분의 분포. 한국수산학회지. 28:7-14.
- 마채우, 홍성윤, 임현식. 1995. 득량만의 저서동물 분포. 한국수산학회지. 28:503-516.
- 심재형, 신윤근. 1989. 천수만 일차생산자의 생물량-식물플랑크톤 탄소량과 세포개체수 및 클로로필과의 관계. 한국해양학회지. 24:194-205.
- 심재형, 신윤근, 이원호. 1984. 광양만 식물플랑크톤 분포에 관한 연구. 한국해양학회지. 19:172-186.
- 심재형, 여환구, 박종규. 1992. 한국 동해 남부해역의 일차생산계 1. 생물량과 생산력. 한국해양학회지. 27:91-100.
- 양한섭, 김성수, 김규범. 1995. 득량만 표층수 중 영양염류의 시공간적 분포특성 1. 영양염류의 계절변화와 기초생산 제한인자. 한국수산학회지. 28:475-488.
- 윤양호. 1995. 가막만 북부해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 변동특성 1. 식물플랑크톤 군집의 계절동태와 적조원인생물. 여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고. 4: 1-15.
- 윤양호. 1998a. 완도 신지도 연안해역의 식물플랑크톤 군집구조 특성. 여수대학교 논문집. 12:651-664.
- 윤양호. 1998b. 가막만 남부 화태 연안해역의 식물플랑크톤 군집구조 특성. 여수대학교 수산과학연구소 연구보고. 7: 129-144.
- 윤양호. 1998c. 시아해 식물플랑크톤 군집의 계절변동 특성. 한국환경생물학회지. 16:403-409.
- 윤양호. 1999. 득량만 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포 특성. 한국환경생물학회지. 17:481-492.
- 윤양호. 2000. 해창만의 생물해양학적 특성 1. 식물플랑크톤의 계절변동과 분포특성. 한국수산학회지. 33(1):43-50.
- 윤양호, 노홍길, 김영기. 1992. 제주북방, 함덕연안해역에 있어서 식물플랑크톤 군집의 계절변동 특성. 제주대학교 해양연구소 연구보고. 16:27-42.
- 윤양호, 고남표. 1995. 거금수도내 양식어장의 해양환경특성 1. 식물플랑크톤 군집의 계절변동. 한국양식학회지. 8:47-58.
- 윤양호, 박종식, 고남표. 2000. 거금수도 양식어장의 해양환경 특성 2. 수질환경과 엽록소 량의 분포특성. 한국양식학회지. 13:87-99.
- 이재철, 노홍길, 조규대, 신상일, 김상우, 김상현. 1995. 1992년 하계 득량만 서부해역의 조류 특성. 한국수산학회지. 28: 1-6.
- 이진환, 허형택. 1983. 득량만에 있어서 식물플랑크톤과 적조 발생에 관한 연구. Bulletin of KORDI. 5: 21-26.
- 정은진, 홍철훈, 이병걸, 조규대. 1994. 득량만의 해수유동에 관한 수치실험 1. M2조에 의한 해수유동. 한국수산학회지. 27:397-403.

- 최용규, 홍성근. 1997. 여름철 득량만의 열속과 관련한 성층. 한국환경과학회지. 6:579-587.
- 통상산업부, 환경부, 건설교통부, 과학기술처, 경찰청, 수산청, 해운항만청, 기상청. 1996. 해양오염방지 5개년 계획. 행정간행물 12000-67440-97-9615. 서울:438 pp.
- 한동훈, 홍성윤, 마채우. 1995. 득량만 동물플랑크톤의 분포. 한국수산학회지. 28:517-532.
- 飯塚 昭二. 1986. 植物プランクトンの調査-試料 採取, 固定, 濃縮, 計數, 同定. in "沿岸環境マニュアル(底質・生物編), 恒星社厚生閣, 東京":144-147.
- Cho CH, KY Park, HS Yang and JS Hong. 1982. Eutrophication of shellfish farms in Deukryang and Gamagyang Bays. Bull. Korean Fish. Soc. 15:233-240.
- Hartley B. 1986. A check-list of the freshwater, brackish and marine diatoms of the British Isles and adjoining coastal waters. J. mar. biol. Ass. U.K. 66:531-610.
- Hong CH and YK Choi. 1997. The response of temperature and velocity fields the M2 tide in Deukryang Bay in the Southern Sea of Korea. Bull. Korean Fish. Soc. 30:667-678.
- Iizuka S. 1985. The results of a survey of maximum densities in cell number of phytoplankton in coastal waters of Japan. Bull. Plankton Soc. Japan. 32:67-72 (in Japanese).
- Larsson U and A Hagatrom. 1982. Fractionated phytoplankton primary production in Baltic eutrophication gradient. Marine Biology. 67:57-70.
- Lee BG and KD Cho. 1995. Temporal variations of stratification-destratification in the Deukryang Bay, Korea. Korean Environ. Sci. Soc. 4:139-149.
- Maita Y and T Odate. 1988. Seasonal change in size-fractionated primary production and nutrient concentrations in the temperate neritic water of Funaka Bay, Japan. J. Oceanogr. Soc. Japan. 44:268-279.
- Moestrup Ø and HA Thomsen. 1990. *Dictyocha speculum* (Silicoflagellata, Dictyochophyceae), studies on armoured and unarmoured stages. Biologiske Skrifter. 37:1-57.
- Nybakken JW. 1993. Marine biology-An ecological approach-(3rd edition). Harper Collins Coll. Pub. New York: 462pp.
- Parke M and PS Dixon. 1976. Check-list of British marine algae. Third revision. J. mar. biol. Ass. U.K. 56:527-594.
- SCOR-Unesco. 1966. Determination of photosynthetic pigments. In "Unesco (ed.), Determination of photosynthetic pigments in sea water. Paris":10-18.
- Shim JH and YC Park. 1984. Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the southwestern sea of Korea in early summer. J. Oceanol. Soc. Korea. 19:68-81.
- Thronsen J. 1978. Preservation and storage. In "Sournia A (ed). Phytoplankton manual. Unesco, Paris":69-74.
- Tomas CR. 1997. Identifying marine phytoplankton. Academic Press. London:858pp.
- Tsujita T. 1956. Studies on the explosive multiplication of plankton and its subsequent phenomena. Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab. 10:3-62 (in Japanese).
- Yamaguchi M and I Imai. 1996. Size fractionated phytoplankton biomass and primary productivity in Osaka Bay, Eastern Seto Inland Sea, Japan. Bull. Nansei Nat'l Fish. Res. Inst. 29:59-73.
- Yoshida Y. 2000. Review; Relationship between the eutrophication level of sea area and major organisms. 水産増殖. 48(2):161-168 (in Japanese).

(Received 9 November 2002, accepted 20 February 2003)