

## 고리, 월성, 울진 및 영광 연안해역에서 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성 II. 현존량 분포 및 환경요인들(1992~1996)

강연식\* · 최중기<sup>1</sup>

전력연구원 방사선환경그룹, <sup>1</sup>인하대학교 해양학과

## Ecological Characteristics of Phytoplankton Communities in the Coastal Waters of Gori, Wolseong, Uljin and Younggwang II. Distributions of Standing Crops and Environmental Variables (1992~1996)

YEON SHIK KANG\* AND JOONG KI CHOI<sup>1</sup>

*Radiation and Environmental Research Group, Korea Electric Power, Research Institute, Daejeon 305-380, Korea*  
<sup>1</sup>*Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-752, Korea*

고리, 월성, 울진 그리고 영광해역에서 1992년부터 1996년까지 식물플랑크톤의 생태학적 특성을 이해하고자, 식물플랑크톤의 현존량 및 엽록소 농도가 조사되었고, 무생물학적 환경요인들과의 상관관계를 분석하였다. 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 연구기간동안 총 질소의 평균 농도는 각각 0.101, 0.094, 0.072 및 0.108 mg/l 이었고, 인산염은 각각 0.007, 0.008, 0.006 및 0.009 mg/l 이었다. N:P ratios는 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 3.2~57.3, 3.1~109.0, 2.6~102.0 및 1.0~165.0으로 극심한 변동을 나타내었다. 또한 부유물질 농도는 각각 평균 18.7, 16.7, 11.6, 및 52.7 mg/l 이었고, 투명도는 각각 평균 3.8, 5.4, 7.9 및 0.7 m 이었다. 총 현존량은 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 각각 평균 710,659, 687,508, 656,245 그리고 1,278,173 cells/l로 영광해역에서 가장 높았으며, 나머지 해역은 서로 유사하였다. 연구해역 모두 전반적으로 높은 현존량을 나타내었으며, 이 중 소형플랑크톤의 현존량은 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 각각 평균 357,546, 333,638, 276,407 그리고 592,975 cells/l 이었으며, 미소플랑크톤의 현존량은 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 각각 평균 353,113, 353,870, 379,838 그리고 714,846 cells/l 로 영광해역에서 가장 높게 나타났다. 규조류는 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 각각 평균 282,009, 284,710, 238,758 그리고 574,563 cells/l로 영광해역에서 가장 높았으며, 고리, 월성 및 울진해역은 봄철에 높고 가을철에 낮은 계절분포를 보인 반면에 영광해역은 여름철에 낮은 현존량을 기록하였다. 와편모조류는 각각 평균 46,078, 35,401, 32,906 그리고 16,749 cells/l로 서해 영광해역이 가장 낮게 나타났고, 고리와 영광해역은 여름철 그리고 울진해역은 가을철에 높은 계절분포를 나타내었다. 엽록소 *a* 농도는 연구해역에서 평균 2.16~4.28 µg/l로 영광해역에서 가장 높게 나타났다. 종 다양성 지수는 연구해역에서 2.11~2.24 이었으며, 동해연안은 겨울철에 불안정하고 여름철에 안정된 군집구조를 이루는 반면에, 서해의 영광해역은 겨울철과 여름철에 안정된 군집구조를 이루고 있었다. 식물플랑크톤 현존량과 무생물학적 환경요인들과의 상관관계 분석결과, 연구해역과 계절에 따라 그 영향의 정도에서 차이를 보이지만, 투명도, 부유물질 및 영양염( $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P) 등이 식물플랑크톤 현존량 분포에 영향을 주는 것으로 나타났다.

In order to investigate the ecological characteristics of phytoplankton communities around a nuclear power plant in Gori coastal waters of the South East Sea, Wolseong and Uljin coastal waters of the East Sea and Younggwang coastal waters of the Yellow Sea, the standing crops and chlorophyll-*a* concentrations of phytoplankton were studied during 1992~1996 and the relationships between standing crops and environmental variables were analyzed. The concentrations of nitrogenous nutrients were on average 0.101, 0.094, 0.072 and 0.108 mg/l and those of phosphorus were on average 0.007, 0.008, 0.006 and 0.009 mg/l in Gori, Wolseong, Uljin and Younggwang, respectively. The N:P ratios were highly variable, ranging from 3.2 to 57.3, from 3.1 to 109.0, from 2.6 to 102.0 and from 1.0 to 165.0 in Gori, Wolseong, Uljin and Younggwang, respectively. The concentrations of suspended solids were on average 18.7, 16.7, 11.6 and 52.7 mg/l and transparencies were on average 3.8, 5.4, 7.9 and 0.7 m in Gori, Wolseong, Uljin and Younggwang, respectively. Total standing crops of phytoplankton averaged 710,659, 687,508, 656,245 and 1,278,173 cells/l in Gori, Wolseong, Uljin and Younggwang, respectively. The standing crops of microplankton(>20 µm) averaged 357,546, 333,638, 276,407

\*Corresponding author: kangys@kepri.re.kr

and 592,975 cells/l, those of nanoplankton (<20  $\mu\text{m}$ ) averaged 353,113, 353,870, 379,838 and 574,563 cells/l in Gori, Wolseong, Uljin and Younggwang, respectively. While standing crops of diatoms were averaged 282,009, 284,710, 238,758 and 574,563 cells/l, those of dinoflagellates were averaged 46,079, 35,401, 32,906 and 16,749 cells/l in Gori, Wolseong, Uljin and Younggwang, respectively. The seasonal standing crops of diatoms in Gori, Wolseong and Uljin were higher in Spring than other seasons, but were lower in Summer than other seasons in Younggwang. The seasonal standing crops of dinoflagellates in Gori and Younggwang were higher in Summer than other seasons, but were higher in Autumn than other seasons in Uljin. Average of chlorophyll-*a* concentrations ranged from 2.16 to 4.28  $\mu\text{g/l}$  in 4 study areas with the highest concentration occurred in Younggwang. Indices of species diversity ranged from 2.11 to 2.24 in 4 study areas. While community structures of phytoplankton were unstable during winter and stable during summer in Gori, Wolseong and Uljin coastal waters, those of phytoplankton were stable during winter and summer than during spring and autumn in Younggwang. The analysis results of Pearson product moment correlation coefficient between standing crops and environmental variables showed that distributions of standing crops were affected by transparencies, suspended solids, and some nutrient ( $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ ), even though the degree of influences were a little different according to the season and the surveyed zone.

**Key words:** Ecological characteristic, Environmental variable, Gori, Microplankton, Nanoplankton, Uljin, Wolseong, Younggwang

## 서 론

수심이 약 200 m 이내로 육지에 가까운 해역을 연안해역이라고 하며, 이는 하구역과 연결되고 수심이 매우 얇은 내만해역과 육지에서 외해로 나가는 점이지대인 연안해역으로 구분할 수 있다. 연안해역은 물리, 화학 및 생물학적 환경 변화가 매우 크며, 육상으로부터 영양염류의 공급이 원활하기 때문에 외해역에 비해 생물생산이 현저히 높다.

해양 생태계에서 크기는 매우 작지만 생물학적 균형의 조건이 되는 먹이사슬의 기저부분을 담당하는 식물플랑크톤은 다양한 환경특성에 민감하게 반응하므로 이들 군집의 시·공간적인 동태과 약은 환경변화를 이해하고 정량화하는데 매우 중요한 의미를 갖는다. 또한 식물플랑크톤 종의 조성, 분포, 현존량 그리고 그 계절적인 변동은 특정해역의 생태 특성 및 해황분석 그리고 일차생산력 추정에 불가결한 자료가 되고, 특히 현존량 변동은 이들을 직접 먹이로 하는 각종 일차소비자들에게 큰 영향을 주는 요소이다.

식물플랑크톤의 현존량 분포는 빛의세기, 수온 및 염분, 수괴의 안정성, 와류 및 용승현상 등의 물리적 요인(Margalef, 1978; Ignitiades, 1979; Estrada, 1984; Estrada *et al.*, 1987; Mukai, 1987; Abboud-Abi Saab, 1992; Sommer, 1994)과 질소화합물, 인, 규산염 및 미량원소 등의 화학적 요인(Margalef, 1978; Turpin and Harrison, 1979; Cullen *et al.*, 1983; Mukai, 1987; Kokkinakis and Wheeler, 1987; Thompson *et al.*, 1989; Sommer, 1994) 및 식물플랑크톤 종의 유전적·생리적 특성, 공생 그리고 포식압력 등과 같은 생물학적 요인(Wimpenny, 1973; Frost, 1991) 등 다양한 환경요인들의 영향을 받는다. 이러한 요인들은 지역 및 계절 그리고 위도에 따라 그 과정과 정도의 크기가 식물플랑크톤 분포에 다양하게 영향을 주어 해역별로 복잡한 군집구조를 가져오게 한다(Platt *et al.*, 1970; Margalef, 1978; Marrase *et al.*, 1989).

국내에서는 서해와 경기만에서 조석전선 형성이 식물플랑크톤 분포에 미치는 영향(최, 1991; Han and Choi, 1991), 내만의 특성

과 개발에 따른 영향(유와 이, 1976; Yoo and Lee, 1979; 이와 히, 1983; 심 등, 1984; Shim and Bae, 1985; 심과 여, 1988; 이 등, 1989; Cho *et al.*, 1994), 강하구 및 하구인 개발에 따른 영향(심과 최, 1978; 조와 히, 1983; 문과 최, 1991; 심 등, 1991), 동해 서남해역과 대한해협에서 환경요인의 영향(최, 1966, 1969; Shim *et al.*, 1985, 1988, 1992) 그리고 발전소 온배수의 영향(한국전력 공사, 1980, 1984, 1986; 유와 이, 1982; 조, 1988; 심 등, 1991; 심과 여, 1992; 여와 심, 1992, 1993; 여와 히, 1999) 등 식물플랑크톤 분포와 주변 환경요인들과의 상관관계를 규명하는 많은 연구들이 수행되었다.

본 연구해역중의 하나인 고리해역에서는 식물플랑크톤과 수문학적 조건들과의 상관관계(Choe, 1972), 부유성 규조류의 생태학적 특성(유와 이, 1982), 비생물환경요인과 일차생산변동, 미소플랑크톤의 중요성, 영양염과의 상관관계(조, 1988; 심 등, 1991b; 심과 여, 1992; 여와 심, 1992, 1993) 등 비교적 많은 연구들이 수행된 반면에, 월성, 울진 및 영광해역의 식물플랑크톤 연구는 상대적으로 매우 미흡한 실정이다(최, 1967; 강과 최, 2001). 본 연구는 동해 남부연안의 고리와 월성, 동해 중부연안의 울진 그리고 서해의 영광해역에서 장기적인 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성을 이해하고자 5년에 걸쳐 식물플랑크톤의 현존량 및 엽록소 농도의 시·공간적인 분포 특성을 분석하고, 이들의 분포에 미치는 무생물학적 환경요인들을 파악하고자 하였다. 아울러 본 연구해역의 식물플랑크톤 군집특성을 다른 한국연안해역과 비교하기 위해 기존 자료를 분석 정리하였다.

## 재료 및 방법

본 연구는 고리, 월성, 울진 및 영광 연안해역을 대상으로 1992년부터 1996년까지 계절별로 5년간 수행되었다(Fig. 1). 고리해역은 북위  $35^{\circ}16'10'' \sim 35^{\circ}23'30''$ , 동경  $129^{\circ}16'07'' \sim 129^{\circ}24'28''$ 에 위치하고 있으며, 외해수의 유동이 많고 대한해협 서수도를 통과하

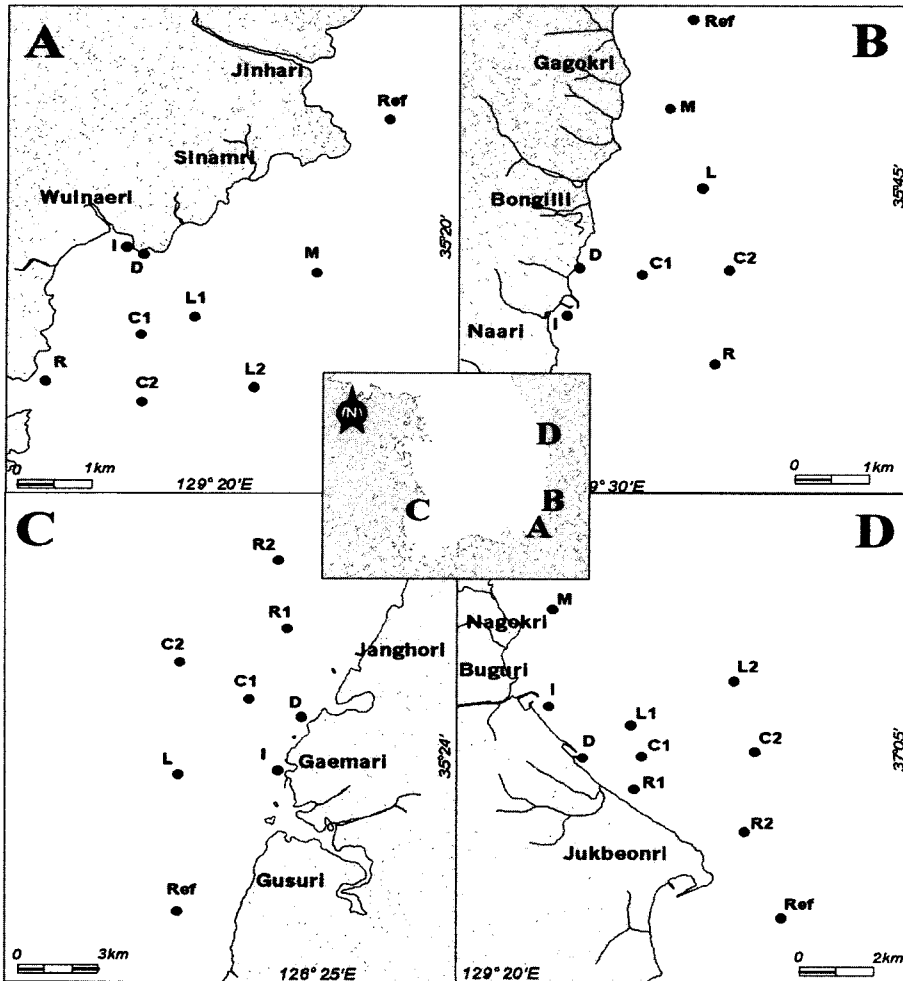


Fig. 1. Map showing the sampling stations in the coastal waters of Gori (A), Wolsong (B), Younggwang (C) and Uljin (D) during 1992-1996. All samples were taken at the surface.

는 대마난류의 영향을 많이 받는 해역이다(한국전력공사, 1996). 주변해역의 퇴적물은 세립질이 우세한 지질학적 특성을 보이며(김과 김, 1990), 북동~남서방향의 반일주조 조석현상을 나타내는 해수유동특성을 가진다. 월성해역은 북위 35°41'17"~35°45'53", 동경 129°29'23"~129°31'47"에 위치하고 있으며, 주변해역은 니질(mud)이 우세한 퇴적환경을 보인다. 울진해역은 북위 37°04'00"~37°07'09", 동경 129°23'04"~129°26'00"에 위치하고 있으며, 주변해역은 니질함량이 적은 사질(sand) 퇴적물로 구성되어 있다. 서해 영광해역은 북위 35°22'04"~35°28'28", 동경 126°21'50"~126°26'30"에 위치하고 있으며, 조석간만의 차가 크고 강한 조석류(30~40 cm/sec)가 흐르며 주변해역은 대부분 실트질 점토(silty-mud)로 구성되어 있다(한국전력공사, 1997).

식물플랑크톤의 현존량 분석을 위한 정량시료는 선상에서 van-Dorn 채수기를 이용하여 표층해수 1 l를 채수한 후 폴리에틸렌 병에 넣은 다음 최종농도 4%가 되게 중성포르말린으로 고정하였다. 이를 실험실로 운반한 후 침전법으로 상등액을 제거하여 농축된 시료를 균일하게 섞은 다음 Sedgewick-Rafter counting chamber를 이용하여 계수하였다. 이 중 미소플랑크톤(<20 μm)의 개체수는 20 μm 망목으로 통과시킨 후 계수하였다. 출현종의 동정은 광학현미경(Leitz Diaplan, 80~240)하에서 실시하였으며, 정(1993),

심(1994), Yamaji(1991)등을 참고하였다. 총 엽록소 a 농도는 현장에서 Field Fluorometer(Turner Design III)을 이용하여 측정하였으며, 이 중 미소플랑크톤(<20 μm)의 엽록소농도는 표층해수를 20 μm 망목으로 통과시켜 소형플랑크톤(>20 μm)을 제거한 후 측정하였다. 종 다양성 지수(species diversity index)는 현존량 자료를 근거로 Shannon-Weaver diversity index(H')로 계산하였고, 이때 사용된 프로그램은 SPDIVERS.BAS(Ludwig and Reynolds, 1988)이다. 수온 및 염분은 현장에서 CTD(Sea-Bird Electronics, Inc., SEACAT SBE 19-03)을 이용하여 측정하였으며, 투명도 측정은 현장에서 Secchi disc(Ø30 cm)를 이용하였다. 영양염(NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, SiO<sub>2</sub>-Si)과 부유물질 분석은 수질오염 공정시험법(환경부, 1996)에 따랐다. 식물플랑크톤 현존량 분포에 영향을 주는 환경요인들과의 상관관계 분석은 피어슨 상관계수(Pearson product moment correlation coefficient)를 사용하였다.

### 결과 및 토의

#### 무생물학적 환경요인

#### 수온 및 염분

연구해역의 수온 및 염분분포는 강과 최(2001)를 참조하였다

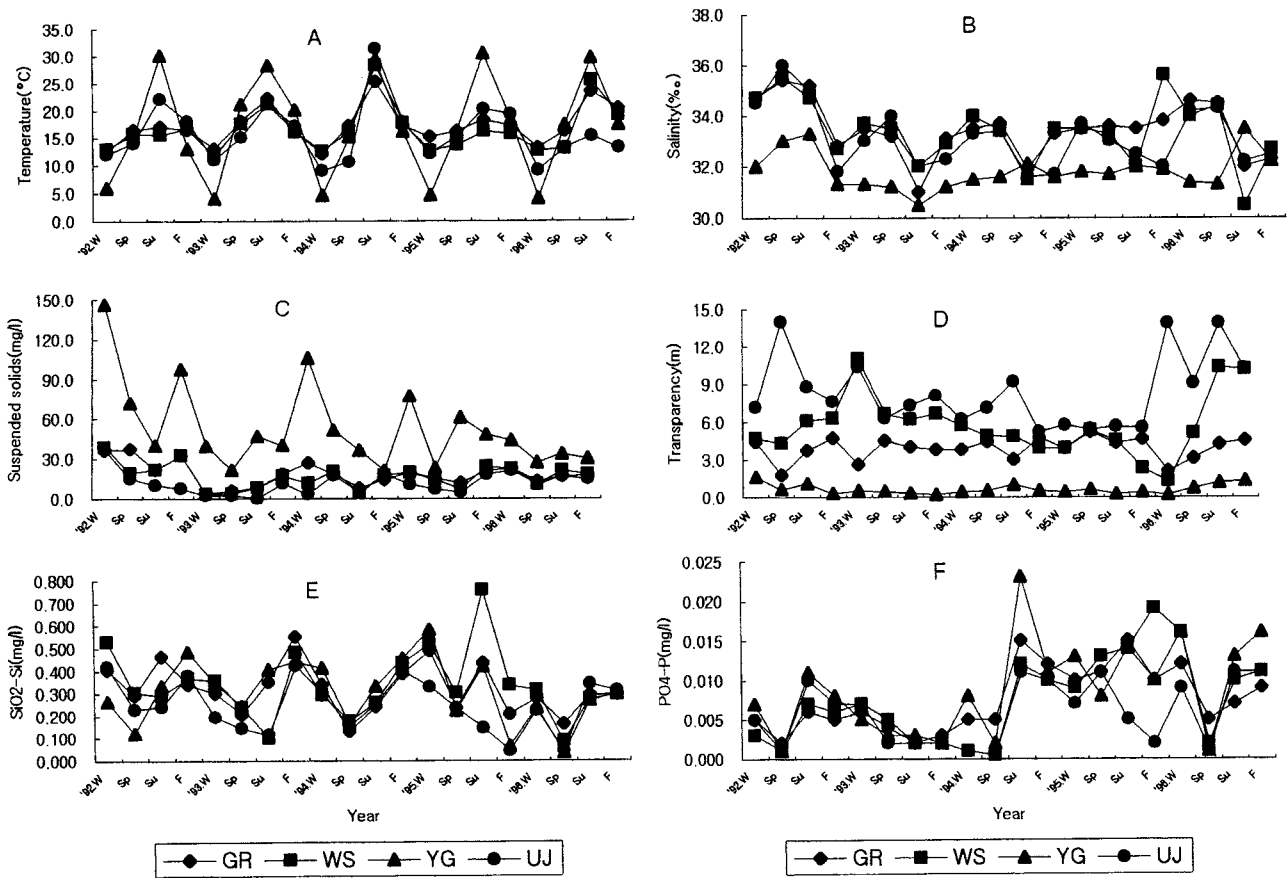


Fig. 2. Temporal variations of temperature(A), salinity(B), suspended solids(C), transparency(D),  $PO_4^{3-}-P$ (E) and  $PO_4^{3-}-SiO_2-Si$ (F) in the coastal waters of Gori(GR), Wolseong(WS), Uljin(UJ) and Yeunggwang(YG) during 1992-1996.

(Fig. 2A, B). 연구기간동안 수온분포는 고리해역 12.0~25.0°C, 월성해역 11.5~28.0°C, 울진해역 9.0~31.0°C 그리고 영광해역 4.0~30.0°C 이었으며, 염분분포는 고리해역 31.0~35.4°C, 월성해역 30.5~35.6°C, 울진해역 31.6~36.0°C 그리고 영광해역 30.5~33.5°C 이었다.

**부유물질**

고리해역의 부유물질 양은 3.9~37.3 mg/l로 평균 18.7 mg/l로 동일해역에서 여(1992)의 1.0~28.1 mg/l과 대체적으로 유사하였다(Fig. 2C). 월성해역은 3.5~38.7 mg/l로 평균 16.7 mg/l로 고리해역과 매우 유사하였다. 울진해역은 0.2~37.0 mg/l로 평균 11.6 mg/l로 연구해역 중 가장 낮았다. 영광해역은 20.9~146.0 mg/l로 평균 52.7 mg/l로 동해연안보다 약 3~5배정도 높게 나타났다. 이는 영광해역이 뱃 조간대가 발달되어 있고 낮은 수심과 빠른 유속으로 인한 저층 퇴적물의 용승작용이 활발하게 일어나기 때문이다. 경기만의 15.0~332.4 mg/l(Choi and Shim, 1986) 보다는 낮았고, 인천연안의 6.0~144.0 mg/l(현과 최, 1988)과는 유사하였으며, 서해 중부해역의 9.1~40.5 mg/l(Han and Choi, 1991) 보다는 높은 값이었다. 연구기간동안 연구해역 모두 1993년에 가장 낮은 농도를 나타내었고 계절적으로는 불규칙한 양상 띠고 있으나, 동해 연안해역은 여름철에 상대적으로 낮았고 서해 영광해역은 겨울철에 상대적으로 높은 농도를 나타내었다. 또한 동해 연안해역은 연구기

간 동안 농도에서 큰 변화가 없는 반면에, 서해 영광해역은 1996년으로 갈수록 점점 감소하는 경향을 나타내고 있었다(Fig. 2C).

**투명도**

투명도는 그 측정방법이 매우 간단하다는 것이 큰 장점으로 표층에서 입자성 물질의 양을 지시해 주며(Stigebrandt, 1991), 생물학적 생산에서 어떠한 변화들을 평가할 수 있는 간접적인 방법으로 인정되고 있다(Sanden and Hakansson, 1996). 그러나 매우 간편한 방법임에도 불구하고, 측정시에 구조적 변화를 야기시키는 많은 요인 - 물분자, 입자성물질, 햇빛의 반사량, 디스크의 크기, 태양의 고도, 구름의 상태, 풍속 및 유속 등 - 들이 작용한다(Sanden and Hakansson, 1996). 단시간에 많은 자료를 얻을 수 있고, 객관성이 높기 때문에 장기적인 환경변화와 생물량 변동 평가에 많이 이용되고 있다(Sanden and Hakansson, 1996; 박 등, 1998).

고리해역의 투명도는 1.8~5.2 m로 평균 3.8 m 이었으며, 다른 계절에 비해 봄철에 투명도의 변동이 컸다(Fig. 2D). 동일해역에서 조(1988)의 2.7~8.5 m 보다는 평균적으로 낮은 값이었다. 월성해역은 1.3~11.0 m로 평균 5.4 m 이었고 겨울철에 변동 폭이 가장 컸으며, 동일해역에서 조(1988)의 2.9~9.0 m와 유사하였다. 울진해역은 5.2~14.0 m로 평균 7.9 m의 매우 높은 투명도를 보이고 있었다. 서해 영광해역은 0.2~1.6 m로 평균 0.7 m의 매우 낮은 투명도를 나타내었으며, 동일해역에서 조(1988)의 0.3~1.6 m

와 매우 유사하였다(Fig. 2D). 영광해역은 대부분이 니트-점토질 퇴적물로 구성되어 있고(한국전력공사, 1997), 얇은 수심과 빠른 유속으로 인한 수괴의 혼합에 의한 높은 탁도로 연중 낮은 투명도를 기록하였다. 수괴의 활발한 혼합은 광의 투과를 저해하므로써 식물플랑크톤의 광합성에 영향을 주는 반면에, 저층의 풍부한 영양염을 재부유시켜 일차 생산을 촉진할 수 있다(Savidge, 1981). 영광해역과 같이 강한 조류에 의한 수괴혼합이 활발한 해역은 일차생산의 계절변화 양상이 일반적인 온대해역과는 다르며, 식물플랑크톤 분포 또한 일반적인 해양환경에서의 분포와 다르게 나타날 수 있다(Demers *et al.*, 1986). 한편, 진해-마산만에서 각각 4.4 m, 0.9 m(박 1975), 광양만에서 0.8~5.0 m(심 등 1984), 경기만에서 0.5~3.8 m(Choi and Shim, 1986), 인천연안에서 0.4~6.2 m(현과 최, 1988) 그리고 만경-동진강 하구에서 0.1~3.5 m(심 등, 1991) 등이 한국 연안해역에서 보고되었다.

#### 영양염류 분포

연안해역에서 식물플랑크톤 성장에 요구되는 영양염의 주 공급원으로는 육상으로부터 유입, 유기물의 분해, 저층수의 수직혼합, 해수내의 질소 고정작용 그리고 동물 및 미세플랑크톤에 의한 영양염 재생산 등을 들 수 있다. 또한 식물플랑크톤의 질소계영양염 요구량의 대부분은 동물플랑크톤과 미세플랑크톤의 영양염 재순환에 의해 공급되는 것으로 보고되고 있다(Gilbert, 1982; Carpenter *et al.*, 1984; Park *et al.*, 1986). 정 등(1988)은 동해 남부해역에서 식물플랑크톤의 성장을 유지시키는 영양염 공급원은 부유미생물을 포함한 생물학적 재순환과 복한한류의 수평적인 확산과 이류라고 보고하였다.

**규산염:** 해양에서 규산염 농도는 생물활동에 의해 조절되며, 그 농도의 변화양상은 매우 크고 불규칙하게 나타나는 것이 특징이다. 또한 규조류가 크게 우점하는 수역에서는 규조류 번식시 감소하는 경향을 보인다. 고리해역에서 규산염은 0.130~0.548(평균 0.328) mg/l, 월성해역은 0.086~0.750(평균 0.334) mg/l로 고리해역과 유사하였다. 울진해역은 0.042~0.422(평균 0.250) mg/l로 조사해역 중 가장 낮았다. 동해 남부해역의 0.040~0.232 mg/l(Shim *et al.*, 1985)보다는 높고 동해 극전선수역의 0.322 mg/l(양 등, 1997)과는 유사하였다. 서해 영광해역은 0.036~0.578(평균 0.292) mg/l로 서해 연안수역의 0.028~0.109 mg/l(Han and Choi, 1991) 보다는 높았지만, 금강하구의 2.300 mg/l(이 등, 1978), 0.201~0.775 mg/l(양 등, 1990), 경기만의 0.071~1.190 mg/l(Choi and Shim, 1986), 인천연안의 0.046~0.904 mg/l(현과 최, 1988), 황해의 1.145 mg/l(장 등, 1990) 보다는 낮은 농도였다. 연구해역 모두 규조류 대증식에 의해 봄철(4~5월)에 대체적으로 낮은 농도를 나타내었으며, 육상유입이 많거나 수괴의 혼합이 활발한 계절에 높았다(Fig. 2E). 고리와 월성해역이 영광과 울진해역보다 다소 높았지만, 연구해역에 따른 농도 차이는 거의 없었다.

**인산염:** 고리해역에서 인산염은 0.002~0.015(평균 0.007) mg/l, 월성해역은 0.005~0.019(평균 0.008) mg/l, 울진해역은 0.005~0.011(평균 0.006) mg/l 그리고 서해 영광해역은 0.001~0.023(평균 0.009) mg/l 이었다(Fig. 2F). 연구해역 모두 불규칙한 계절변동을 나타내었다. 이는 부영양화 해역인 진해만의 0.101~0.628 mg/l(박, 1975), 낙동강 하구의 0.023~0.459 mg/l(박, 1975), 해암만의 0.660 mg/l(이 등, 1978), 마산만의 0.033~0.182 mg/l(이 등,

1986)보다는 낮았고 동해남부해역의 0.002~0.027 mg/l(Shim *et al.*, 1985), 경기만의 0.023 mg/l(Choi and Shim, 1986), 인천연안의 0.001~0.080 mg/l(현과 최, 1988), 득량만의 0.015~0.020 mg/l(양 등, 1995), 동해 극전선수역의 0.027 mg/l(양 등, 1997)과는 유사하였으며, 제주연안의 0.003~0.009 mg/l(박, 1982) 그리고 황해의 0.009 mg/l(장 등, 1990), 0.003~0.005 mg/l(Han and Choi, 1991)보다는 높았다.

**질소계 영양염:** 총 질소(total nitrogen)는 고리해역에서 0.038~0.172(평균 0.101 mg/l로 1993년 11월에 가장 높았고 월성해역은 0.023~0.162(평균 0.094) mg/l로 1992년 7월에 가장 높았으며, 울진해역은 0.013~0.162(평균 0.072) mg/l로 1993년 8월에 가장 높았다. 영광해역은 0.008~0.330(평균 0.108) mg/l로 1993년 10월에 가장 높았다. 월성해역은 여름철에 높고, 영광해역은 봄철에 상대적으로 낮은 계절적 분포를 보여준 반면에, 고리와 울진해역은 불규칙한 계절변동을 보여 주었다(Fig. 3A-D).

질산염( $\text{NO}_3^-$ -N)의 경우, 고리해역은 0.025~0.154(평균 0.080) mg/l, 월성해역은 0.010~0.160(평균 0.077) mg/l, 울진해역은 0.004~0.117(평균 0.054) mg/l 그리고 영광해역은 0.003~0.303(평균 0.081) mg/l로 고리와 영광해역이 높았고, 울진해역에서 가장 낮았다(Fig. 3A-D). 이는 진해-마산만의 0.220 mg/l(이 등, 1978), 광양만의 0.076~0.270 mg/l(심 등, 1984), 경기만의 0.031~0.560 mg/l(Choi and Shim, 1986), 금강하구의 0.624 mg/l(이 등, 1978), 0.308~0.680 mg/l(양과 김, 1990) 보다는 낮았고, 제주연안의 0.140~0.224 mg/l(박, 1982), 동해 극전선수역의 0.112 mg/l(양 등, 1997)과는 유사하였으며, 동해남부해역의 0.007~0.060 mg/l(Shim *et al.*, 1985), 황해의 0.009 mg/l(장 등, 1990), 0.003~0.050 mg/l(You *et al.*, 1994), 서해연안해역의 0.004~0.052 mg/l(Han and Choi, 1991) 그리고 득량만의 0.001~0.073 mg/l(양 등, 1995)보다는 높은 값이었다.

아질산염( $\text{NO}_2^-$ -N)의 경우, 고리해역은 0.002~0.029 mg/l, 월성해역은 0.002~0.031 mg/l, 울진해역은 0.002~0.011 mg/l 그리고 영광해역은 0.005~0.038 mg/l로 영광해역이 다소 높았으나, 큰 차이는 없었다(Fig. 3A-D). 이는 진해-마산만의 0.034(이 등, 1978), 광양만의 0.053~0.225 mg/l(심 등, 1984), 마산만의 0.015~0.393 mg/l(이 등, 1986), 금강하구의 0.012~0.057 mg/l(양 등, 1990) 보다는 낮았고, 목포해역의 0.014(이 등, 1978), 경기만의 0.001~0.015 mg/l(Choi and Shim, 1986), 서해 연안해역의 0.001~0.025 mg/l(Han and Choi, 1991), 득량만의 0.001~0.012 mg/l(양 등, 1995)과 유사하였으며, 동해남부해역의 0.001~0.006 mg/l(Shim *et al.*, 1985), 황해의 0.003(You *et al.*, 1994)보다는 높았다.

암모니아( $\text{NH}_4^+$ -N)(ammonia)는 고리해역 0.005~0.056(평균 0.014) mg/l, 월성해역은 0.002~0.052(평균 0.011) mg/l, 울진해역은 0.002~0.067(평균 0.014) mg/l 그리고 영광해역은 0.003~0.048(평균 0.019) mg/l로 영광해역에서 가장 높았으나 큰 차이는 없었다(Fig. 3A-D). 이는 서해 연안해역의 0.001~0.025 mg/l(Han and Choi, 1991), 황해의 0.008(You *et al.*, 1994), 득량만의 0.008~0.028 mg/l(양 등, 1995) 그리고 금강하구의 0.037 mg/l 이하(양 등, 1997)와 대체적으로 유사하였다.

질소계 영양염 중 질산염이 연구해역 모두에서 가장 우세하였으며, 다른 연안해역과 비교해 볼 때, 부영양화된 연안해역과 의

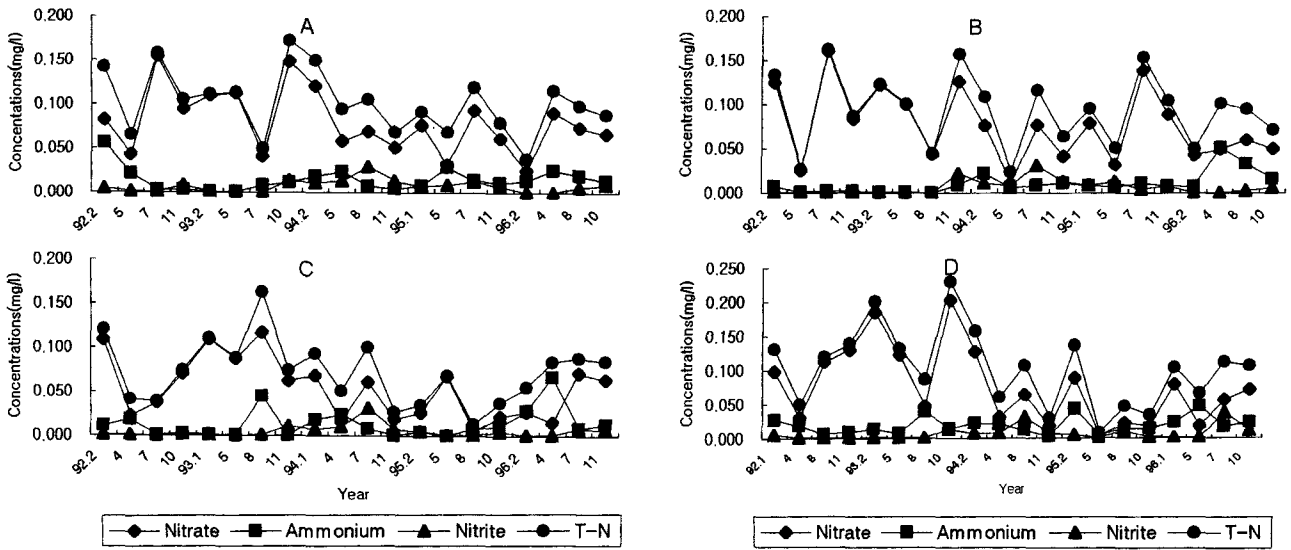


Fig. 3. Variations of  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{NH}_4^+$ -N,  $\text{NO}_2^-$ -N and total nitrogen (TN) in the coastal waters of Gori(A), Wolseong(B), Uljin(C) and Younggwang(D) during 1992-1996.

해역의 중간 정도인 중영양화 단계의 수계 특성을 띠고 있었다. 그러나 연구해역 모두 영양염류의 공급원과 계절변동에 대한 원인에 대해서는 구체적으로 알려진 바 없어, 이를 위해 보다 세밀한 연구들이 시급하다고 하겠다.

**N:P, Si:P 및 Si:N 비:** 연구기간동안 N:P 비는 고리, 월성, 울진 그리고 영광해역에서 각각 3.2~57.3(평균 18.8), 3.1~109.0(평균 25.9), 2.6~102.0(평균 30.0) 그리고 1.0~165.0(평균 26.9)로 고리해역에서 가장 낮았다. 해역과 계절에 따라 N:P 비는 매우 불규칙한 변동을 보이고 있었으며, 연구해역 모두 일반적인 해양의 Redfield 비보다 대체적으로 높아 질산염보다는 오히려 인산염이 식물플랑크톤 성장의 제한인자로 작용하고 있는 것으로 조사되었다. Eppley *et al.*(1969)은 대기로부터 해수 중에 유입된 질소가 생물학적으로 고정되어 질산염이 충분히 공급될 때, 인산염이 제한인자로 작용한다고 하였다. 국내에서도 인산염이 동해남부해역(Shim *et al.*, 1992)과 울릉도 부근해역(Moon *et al.*, 1996)에서 식물플랑크톤 성장의 제한인자라고 보고되었다. 그러나 Smith(1984)는 영양염이 충분히 공급되는 해역에서는 질산염과 인산염 모두 제한인자로 작용할 수 없다고 하였으며, 특히 연안해역에서 식물플랑크톤 성장의 제한인자에 대해서는 아직도 의견이 분분하다(Meybeck, 1982; Smith, 1984). 동해에서 정 등(1989)은 13.4, Park *et al.*(1991)은 6.1 그리고 Shim *et al.*(1992)은 12.5의 N:P 비를 보고해 질소계 영양염이 제한인자라고 하였다. Moon *et al.*(1996)과 양 등(1997)은 울릉도 부근해역에서 각각 18.6, 8.7~10.1의 N:P비를 보고하였고, Jo(1988)는 서해 천수만에서 5.2~8.6, 정과 박(1988)은 경기만에서 7.9~74.5의 N:P 비를 보고하였다.

Si:P 비는 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 각각 15.9~182.7(평균 63.5), 17.5~239.5(평균 97.1), 21.2~328.0(평균 88.6) 그리고 6.4~220.0(평균 56.9)이었으며, 일반적인 해양의 Si:P 비 약 15.0(Raymont, 1980)보다 높아 연구해역 모두에서 인산염이 제한인자로 작용하고 있음을 알 수 있었다. 한편, Shim *et al.*(1992)은 동해에서 5.1의 Si:P 비를 보고해 규산염도 제한인자로 작용할 수

있다고 하였다. Stefansson and Richards(1963)는 규조류의 대증식이 발생할 때, 약 22.0의 Si:P 비로 생물체에 흡수된다고 보고하였다.

Si:N 비는 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 각각 3.6, 4.2, 4.5 그리고 4.7로 영광해역이 다소 높았다. Sommer(1994)는 총 현존량에 대한 규조류의 공헌은 Si:N 비에 반응한다고 하였다. 본 연구에서도 소형플랑크톤에 대한 규조류의 공헌도가 영광해역에서 96.1%로 가장 높았다.

### 식물플랑크톤의 현존량 분포 총 현존량

연구기간동안 고리해역에서 식물플랑크톤의 총 현존량은 183,907~2,631,922 cells/l로 1996년 2월에 가장 낮았고 1995년 5월에 가장 높았다(Fig. 4A-1). 계절별 평균 현존량은 462,296~1,089,809 cells/l로 겨울철에 낮고 봄철에 높았으며, 가을철도 겨울철과 마찬가지로 낮은 현존량을 나타내었고 여름철은 그 중간정도였다. 봄철에 높은 현존량을 기록한 것은 미소플랑크톤(nanoplankton) 뿐만 아니라 *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira decipiens* 두 종의 매우 높은 현존량 때문이었다. 반대로 가을철에 낮은 현존량을 보인 것은 미소플랑크톤의 현존량이 전반적으로 낮았기 때문이다. 여름철에도 비교적 높은 현존량을 유지한 것은 *Chaetoceros debilis* 가 높은 현존량을 보였기 때문이며, 특히 1993년 7월에는 와편모조류인 *Ceratium furca*가 대증식을 일으켜 봄철보다 높은 현존량을 기록하였다. 동일해역에서 여(1992)는 여름철에도 식물플랑크톤의 대증식이 발생할 수 있다고 하였다. 여(1992)는 동일해역에서 1,647,000~9,866,000 cells/l의 매우 높은 현존량을 보고하였는데, 이는 크기가 매우 작은 미소 및 초미소플랑크톤(picoplankton)의 현존량이 매우 높았기 때문이었다.

월성해역의 총 현존량은 149,239~2,657,638 cells/l로 1995년 7월에 가장 낮았고 1993년 8월에 가장 높았다(Fig. 4B-1). 계절별 평균 현존량은 442,215~1,123,613 cells/l로 봄철에 높고 가을철에 낮아 고리해역과 매우 유사한 양상을 보여 주었다. 봄철에 높

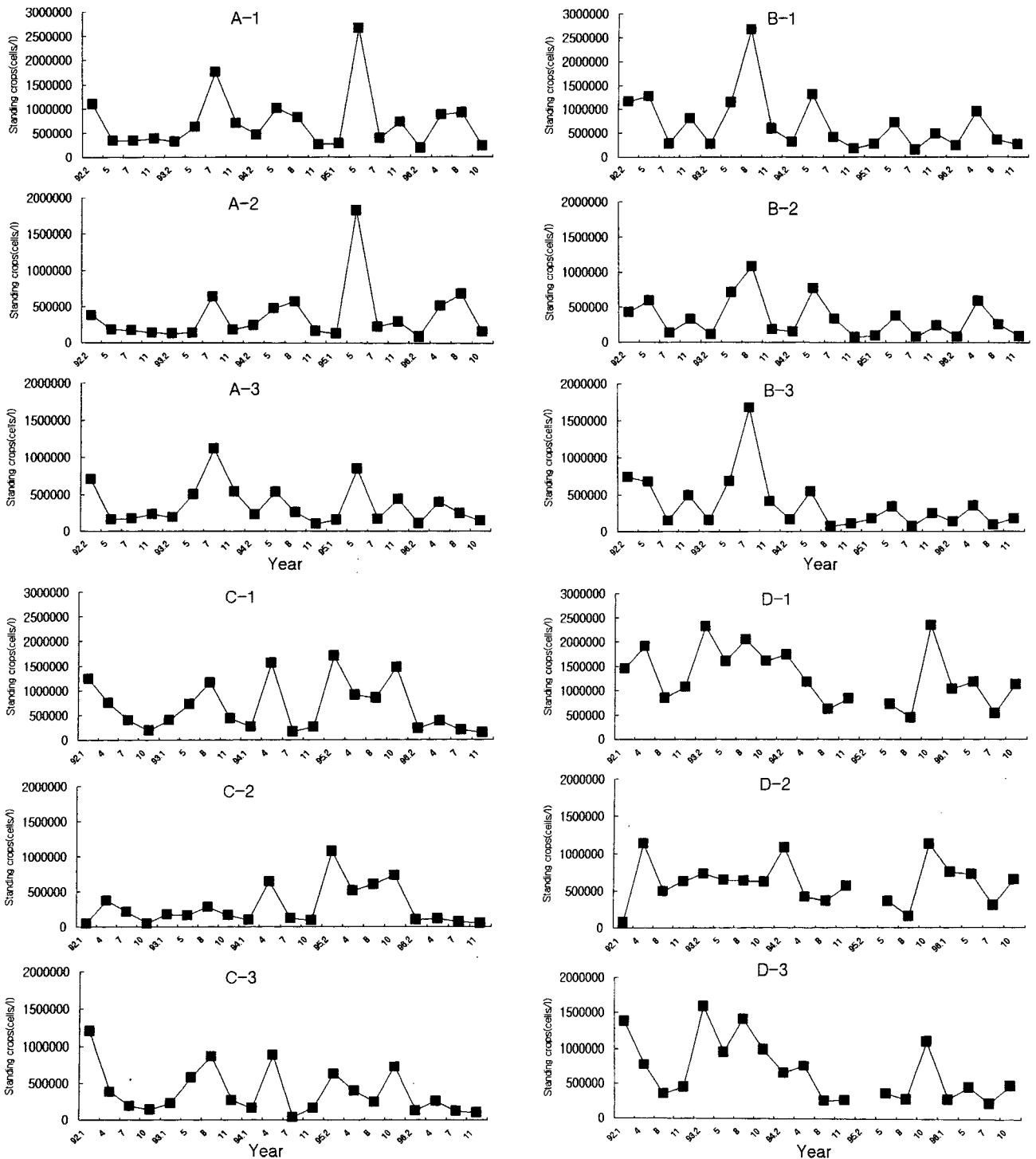


Fig. 4. Variations of standing crops of total phytoplankton, microplankton (>20 μm) and nanoplankton (<20 μm) in the coastal waters of Gori(A), Wolsong(B), Ulsin(C) and Younggwang(D) during 1992-1996(1: total phytoplankton, 2: microplankton, 3: nanoplankton).

은 현존량을 보인 것은 미소플랑크톤의 현존량도 높았지만, *Ch. debilis*, *Th. decipiens* 등이 높은 현존량을 기록하였기 때문이다. 여름철에도 *Chaetoceros* 속의 종들이 높은 현존량 보여 비교적 높은 현존량을 유지하고 있었다. 동일해역에서 한국원자력기술주식회사(1980)의 1,000~2,840,076 cells/l, 한국전력공사(1990)의 1,401

~3,620,000 cells/l 그리고 여(1992)의 623,000~2,566,000 cells/l 등과 대체적으로 유사하였다(Table 1).

울진해역의 총 현존량은 139,065~1,659,031 cells/l로 1996년 11월에 가장 낮았고 1995년 2월에 가장 높았다(Fig. 4C-1). 계절별 평균 현존량은 483,386~845,238 cells/l로 고리 및 월성해역과

**Table 1.** Total standing crops of phytoplankton in different region of Korea.

Area	Standing crops (cells/l)	Period	References
<b>Yellow Sea</b>			
Beobseongpo	786	1964~1965	Choi(1967)(in Korean)
Western coast of Korea	0~305,623	1965~1966	Choi(1969)
Han River Estuary	31,034~3,489,051	1977~1978	Shim and Choi(1978)(in Korean)
Chonsu Bay	25,49~2129,459	1977~1978	Shim and Lee(1979)(in Korean)
Younggwang coastal area	12,969~831,438	1979~1980	KEPCO(1984)(in Korean)
Kunsan coastal area	200,000~2,331,500	1980~1981	Shim and Yoo(1985)(in Korean)
Kyeonggi Bay	16,234~1,753,458	1981~1982	Choi and Shim(1986)
Yellow Sea	1,100~241,660	1983. 8	Chang and Shim(1990)(in Korean)
Inchon coastal area	18,000~535,000	19831984	Shin and Choi(1988)(in Korean)
Yellow Sea	318,000~700,400	1984. 11	Chang and Shim(1994)(in Korean)
Yellow Sea	61,000~331,000	1984	Chang and Shim(1993)(in Korean)
Chonsu Bay	48,000~3,720,000	1985~1986	Shim and Yeo(1988)(in Korean)
Younkwang coastal area	59,700~2,120,000	1985~1986	KEPCO(1986)(in Korean)
Middle eastern coast of Yellow Sea	86,000~3,174,000	1986. 7	Choi(1991)(in Korean)
Middle eastern coast of Yellow Sea	5,000~4,340,000	1987	Han and Choi(1991)
Kunsan coastal area	15,000~5,451,000	1987~1988	Lee <i>et al.</i> (1989)(in Korean)
Youngkwang coastal area	453,000	1987~1988	Cho(1988)(in Korean)
Mankyong, Dongjin River Estuary	2,1482~2,291,000	1989~1990	Shim <i>et al.</i> (1991)(in Korean)
Middle eastern coast of Yellow Sea	27,499~219,806	1989~1990	Kang(1991)(in Korean)
Kyeonggi Bay	25,888~432,355	1989~1990	Kang(1991)(in Korean)
Inchon Duck	7,000,000~12,500,000	1989~1990	Lee and Byun(1991)(in Korean)
Younggwang coastal waters	428,667~2,292,822	19921~996	Present study
<b>East Sea</b>			
Jukbyun	226	1964~1965	Choi(1967)(in Korean)
Korea Strait	0~39,753	1965	Choi(1966)(in Korean)
Japan Sea	1,000~100,000	1966	Kawarada <i>et al.</i> (1968)
Coastal area of East Sea	0~245,247	1965~1966	Choi(1969)(in Korean)
Korea Strait	0~40,236	1965~1966	Choi(1969)(in Korean)
Gori coastal area	35~15,455	1969~1970	Choe(1972)
Gori coastal area	184~524,852	1977~1980	Yoo and Lee(1982)(in Korean)
Wolseong coastal area	1,000~2,840,076	1979	KNES(1980)(in Korean)
Uljin coastal area	18,134~239,827	1980	KEPCO(1980)(in Korean)
Youngil Bay	74,000~1,038,000	1983~1984	Shim and Bae(1985)
Southwestern waters of East Sea	3,040,000	1984	Shim <i>et al.</i> (1985)
Gori coastal area	1,647,000~9,866,000	1987~1989	Yeo(1992)(in Korean)
Wolseong coastal area	623,000~2,566,000	1987	Yeo(1992)(in Korean)
Gori coastal area	62,000~416,000	1987~1988	Cho(1988)(in Korean)
Wolseong coastal area	23,000~356,000	19871988	Cho(1988)(in Korean)
Southwestern waters of East Sea	2,174,000~5,512,000	1989	Shim <i>et al.</i> (1992)
Wolseong coastal area	1,401~3,620,000	1989~1990	KEPCO(1990)(in Korean)
Uljin coastal area	52,000~2,524,000	1990	KEPCO(1991)(in Korean)
Gori coastal waters	183,907~2,631,922	1992~1996	Present study
Wolseong coastal waters	175,973~2,657,638	1992~1996	Present study
Uljin coastal waters	139,065~1,659,031	1992~1996	Present study
<b>South Sea</b>			
Masan Bay	3,780~7,642,798	1974~1975	Yoo and Lee(1976)(in Korean)
Jinhae Bay	808,000~12,461,000	1976~1975	Yoo and Lee(1979)
Duekyang Bay	2,967,000~5,326,814	1980~1981	Lee and Huh(1983)(in Korean)
Kwangyang Bay	79,000~2,849,000	1982	Shim <i>et al.</i> (1984)(in Korean)
Nakdong River Estuary	640~331,760	1985~1986	Cho and Huh(1988)(in Korean)
Samchonpo coastal area	1,468,000~7,086,000	1987	Yeo(1992)(in Korean)
JejuBusan	36~12,501	1988	Park and Lee(1990)(in Korean)
Jeju coastal area	1,834~1,190,044	1988~1989	Lee <i>et al.</i> (1990)(in Korean)
Nakdong River Estuary	173,000~3,554,000	1989	Moon and Choi(1991)(in Korean)
Samchonpo coastal area	35,640~5,900,490	1990~1991	KEPCO(1993)(in Korean)
Kwangyang Bay	25,000~2,182,000	1986~1987	Cho <i>et al.</i> (1994)



마찬가지로 가을철에 낮고 봄철에 높게 나타났다. 그러나 상대적으로 겨울철에 높은 현존량을 보여 고리와 월성해역과는 다소 다른 계절적 분포특성을 나타내었다. 이는 겨울철에 와편모조류인 *Prorocentrum triestinum*이 높은 현존량을 기록하였기 때문이다. 동일해역에서 한국전력공사(1990)는 52,000~2,524,000 cells/l의 현존량을 보고하였다(Table 1).

서해 영광해역의 총 현존량은 428,667~2,304,532 cells/l로 1995년 8월에 가장 낮았고 1993년 2월에 가장 높았다(Fig. 4D-1). 계절별 평균 현존량은 886,082~1,619,929 cells/l로 여름철에 낮고 겨울철에 높게 나타났다. 봄과 가을철도 겨울철과 거의 유사하게 높은 현존량을 기록하고 있어, 동해 연안의 고리, 월성 그리고 울진해역과는 다른 계절분포를 나타내었다. 크기가 작은 미소플랑크톤은 물론 규조류인 *S. costatum*, *Th. decipiens* 그리고 *Paralia sulcata* 등이 총 현존량에 많은 기여를 하였다.

따라서 연구기간동안 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 식물플랑크톤의 총 평균 현존량은 각각 710,699 cells/l, 687,508 cells/l, 656,245 cells/l 그리고 1,278,173 cells/l로 영광해역에서 가장 높았고, 고리와 월성 그리고 울진해역은 거의 유사하였다. 동해연안의 고리, 월성 그리고 울진해역은 봄철에 높고 가을철에 낮은 반면에 서해의 영광해역은 겨울철과 봄철에 높고 여름철에 낮아, 동해연안과 서해남부연안 해역에서의 식물플랑크톤 계절적 분포양상이 다소 다를 수 있었다. 한국 근해에서 조사된 식물플랑크톤의 자료를 정리하여 Table 1에 나타내었다. 연구시기 및 해역에 따라 현존량에 있어 상당한 차이가 있어 비교하는 데는 다소 무리가 있으나 전반적인 경향을 파악할 수 있었다. 부영양화 해역인 진해만(You and Lee, 1979), 인천항(이와 변, 1991) 그리고 만경-동진강하구(심 등, 1991)에서는  $10^7$  cells/l 이상의 매우 높은 현존량이 보고되었고, 육지와 떨어진 황해(장과 심, 1993, 1994)와 제주연안(박과 이, 1990)은 낮은 현존량을 기록하고 있었다. 본 연구해역은 영일만(Shim and Bae, 1985), 군산연안(심과 유, 1985), 경기만(Choi and Shim, 1986), 서해 연안해역(최, 1991), 낙동강하구(문과 최, 1991) 그리고 광양만(심 등, 1984; Cho et al., 1994)의 현존량과 유사하였다(Table 1).

#### 소형플랑크톤(microplankton, >20 $\mu$ m) 및 규조류 현존량

해양에 서식하는 식물플랑크톤은 크기에 따라 소형플랑크톤(microplankton, >20  $\mu$ m), 미소플랑크톤(nanoplankton, 2~20  $\mu$ m) 그리고 초미소플랑크톤(picoplankton, 0.2~2  $\mu$ m) 등으로 크게 구분될 수 있다(Sieburth et al., 1978). 온대 연안해역에서의 소형플랑크톤은 규조류가 대부분을 차지한다(Werner, 1977). 우리나라 주변해역에서 출현하는 규조류는 약 540여종에 이르며(Lee and Cho 1985), 본 연구해역에서는 약 300여종의 출현을 보고하였다(강과 최, 2001).

고리해역의 소형플랑크톤 현존량은 82,648~1,729,521 cells/l로 1996년 2월에 가장 낮았고, 1995년 5월에 가장 높았다(Fig. 4A-2). 계절별로는 평균 180,120~609,050 cells/l로 가을철에 낮고 봄철에 가장 높았다. 겨울철에도 낮은 현존량을 보였으며 여름철은 그 중간 정도였다. 동일해역에서 Choe(1972)는 35~15,455 cells/l, 조(1988)는 62,000~416,000 cells/l를 보고하였다. 소형플랑크톤 중 규조류의 현존량은 57,468~1,457,930 cells/l로 1996년 10월에 가장 낮았고 1995년 5월에 가장 높았다(Fig. 5A-1). 1995년 5월

에 규조류인 *S. costatum*과 *Leptocylindrus danicus* 두 종이 각각 559,715~1,330,688 cells/l, 256,051~955,675 cells/l로 현존량에 많은 기여를 한 반면에, 1996년 10월에는 우점종으로 출현하는 *S. costatum*, *Chaetoceros* spp. 등이  $10^4$  cells/l 미만의 매우 낮은 현존량을 나타내고 있었다. 계절별로는 평균 106,711~540,150 cells/l로 봄철에 높았고 가을철에 낮았다. 동일해역에서 유와 이(1982)는 184~524,852 cells/l의 규조류 현존량을 보고한 바 있다. *S. costatum*, *Th. decipiens*, *Ch. debilis*, *Ch. socialis* 등이 규조류 현존량에 큰 기여를 하였으며, 이 외에도 *P. sulcata*, *Asterionellopsis glacialis*, *C. furca* 등이 계절에 따라 높은 현존량을 기록하였다.

월성해역의 소형플랑크톤 현존량은 73,296~1,076,754 cells/l로 1994년 11월에 가장 적었고, *Chaetoceros* spp.가 대증식을 일으킨 1993년 8월에 가장 높은 현존량을 나타내었다(Fig. 4B-2). 계절별로는 평균 172,014~607,917 cells/l로 겨울철에 낮고 봄철에 높아 인근의 고리해역과 유사한 계절분포를 나타내었다. 가을철에도 겨울과 마찬가지로 매우 낮은 현존량을 보였으며 여름철은 그 중간 정도였다. 동일해역에서 한국전력공사(1980)는 18,134~239,827 cells/l, 조(1988)는 23,000~356,000 cells/l를 보고하였다. 소형플랑크톤 중 규조류 현존량은 31,878~1,052,983 cells/l로 1996년 11월에 가장 낮았고 1993년 8월에 가장 높았다(Fig. 5B-1). 1993년 8월에 *S. costatum*과 *Ch. debilis* 두 종이 각각 96,967~735,612 cells/l, 218,895~549,185 cells/l로 현존량에 많은 기여를 한 반면에, 1996년 11월에는 높은 현존량을 보이는 규조류의 출현이 거의 없었고, 상대적으로 와편모조류의 출현이 많았다. 계절별로는 평균 115,050~500,577 cells/l로 봄철에 가장 많았고, 가을철에 가장 낮아 고리해역과 매우 유사하였다. *Ch. debilis*, *S. costatum*, *Th. decipiens* 등이 계절에 관계없이 규조류 현존량에 큰 기여를 하였으며, 특히 *Ch. socialis*는 겨울철, 그리고 *Chaetoceros* 속의 종들은 여름철에 높은 현존량을 기록하였다.

울진해역의 소형플랑크톤 현존량은 41,857~1,042,349 cells/l로 1992년 1월에 가장 낮았고, 1995년 2월에 최고를 기록하였다(Fig. 4C-2). 계절별로는 평균 209,786~354,945 cells/l로 봄철에 높았으나, 고리와 월성해역에 비해 계절에 따른 현존량 변동은 뚜렷하지 않았다. *Chaetoceros* 속의 종들이 계절에 관계없이 연중 높은 현존량을 기록하였으며, *P. triestinum*은 가을철과 겨울철에 높은 현존량을 기록하였다. 또한 해양에서 규산염에 대한 규조류의 경쟁자인 규질편모조류 *Distephanus speculum*은 가을철과 겨울철에 종종 높은 현존량을 기록한 것이 주목할 만 하였다. 동일해역에서 한국전력공사(1980)는 18,134~239,827 cells/l를 보고하였다. 규조류 현존량은 21,648~1,048,955 cells/l로 1996년 11월에 가장 낮았고 1992년 1월에 가장 높았다(Fig. 5C-1). 1992년 1월에 *Chaetoceros* 속의 종들이 대증식을 일으켰으며, 특히 *Ch. socialis*는 136,250~536,370 cells/l로 현존량에 많은 기여하였다. 이 종은 1992년 2월에 고리해역에서도 높은 현존량을 나타내고 있었다. 1996년 11월에는 규조류의 출현이 거의 없었고, 상대적으로 와편모조류의 출현이 많았다. 계절별로는 평균 127,673~342,280 cells/l로 대체적으로 봄철에 가장 높고, 가을철에 가장 낮은 현존량을 나타내었다. 고리 및 월성해역과 유사한 계절분포를 나타내었으나, 그 변동폭은 매우 작았으며 여름철보다 겨울철의 현존량이 높게 나타난 것이 특이하였다.

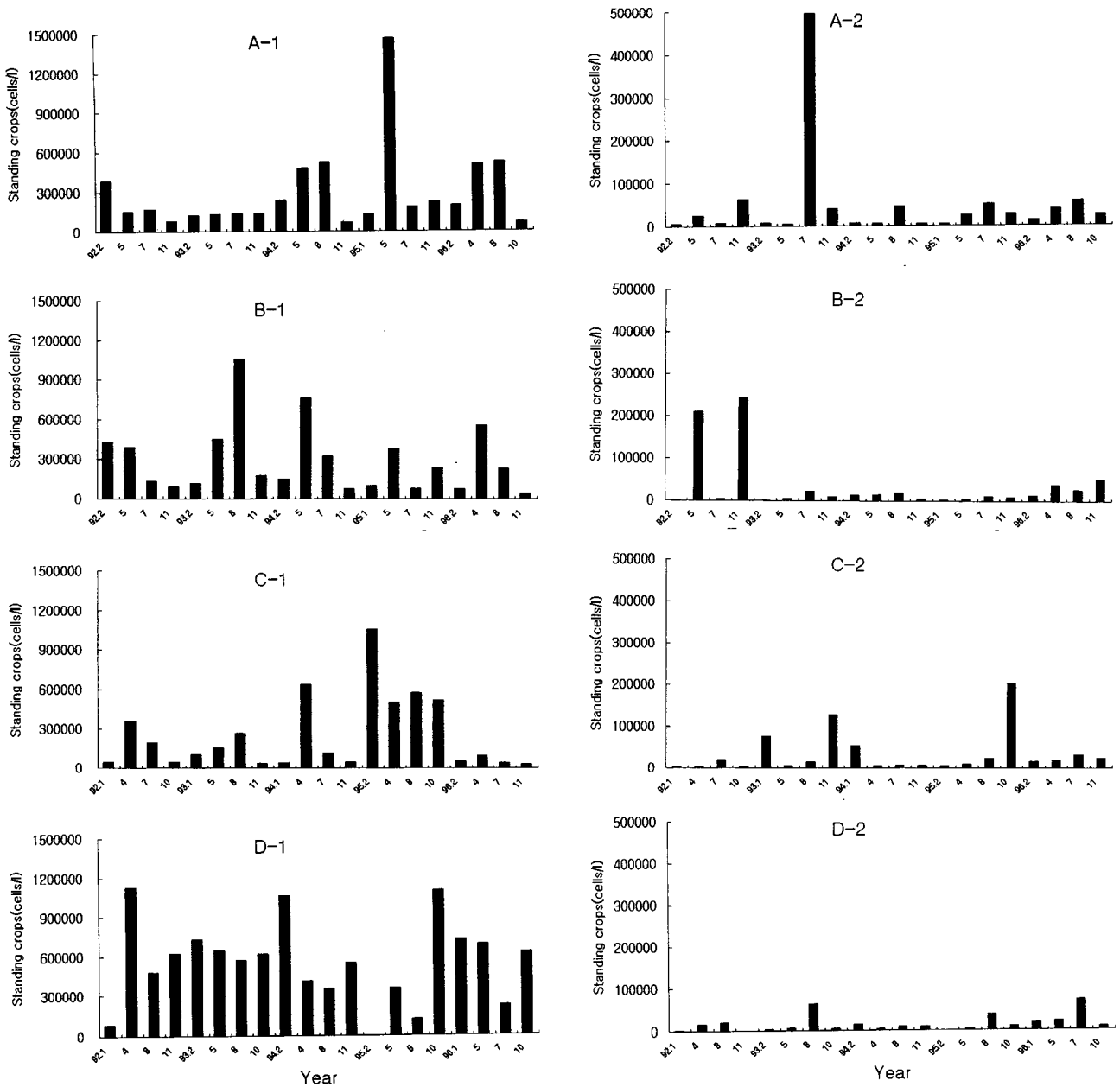


Fig. 5. Variations of standing crops of diatoms and dinoflagellates in the coastal waters of Gori(A), Wolseong(B), Uljin(C) and Younggwang(D) during 1992-1996(1: diatoms, 2: dinoflagellates).

서해 영광해역의 소형플랑크톤 현존량은 77,714~1,136,206 cells/l로 1992년 1월에 가장 낮았고, *S. costatum*이 대증식을 일으킨 1992년 4월에 가장 높은 현존량을 나타내었다. 또한 1994년 2월과 1995년 10월에는 *Th. decipiens*가 대증식을 일으켜 높은 현존량을 기록하였다(Fig. 4D-2). 계절별로는 평균 382,945~703,640 cells/l로 여름철에 상대적으로 낮았고, 나머지 계절은 유사한 분포를 나타내었다. *Th. decipiens*와 *S. costatum* 두 종이 연중 높은 현존량을 기록하였으며, 이 외에 *P. sulcata*는 겨울철, *Ch. debilis*는 여름철에 높은 현존량을 기록하였다. 동일해역에서 한국전력공사(1984)는 12,969~831,438 cells/l, 최(1967)는 인근해역인 범성포에서 786 cells/l의 현존량을 보고하였다(Table 1). 규조류 현존

량은 71,857~1,118,787 cells/l로 1992년 1월에 가장 낮았고 1992년 4월에 가장 높았다(Fig. 5D-1). 1992년 4월에 최대를 보인 것은 *S. costatum*이 대증식으로 일으켜 499,514~1,033,117 cells/l의 높은 현존량을 기록한 반면에, 1992년 1월에 낮은 현존량을 보인 것은 영광해역에서 높은 현존량을 보이는 *P. sulcata*와 *S. costatum* 두 종이 매우 낮은 현존량을 나타내었기 때문이다. 계절별로는 평균 341,778~693,709 cells/l로 여름철에 가장 낮았으며, 이 외의 계절은 유사하였다. 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 규조류 현존량은 각각 평균 282,009 cells/l, 284,710 cells/l, 238,758 cells/l 그리고 574,563 cells/l로 울진해역에서 가장 낮고, 영광해역에서 가장 높았다. 동해 연안해역의 고리, 월성 및 울진해역은 봄철에

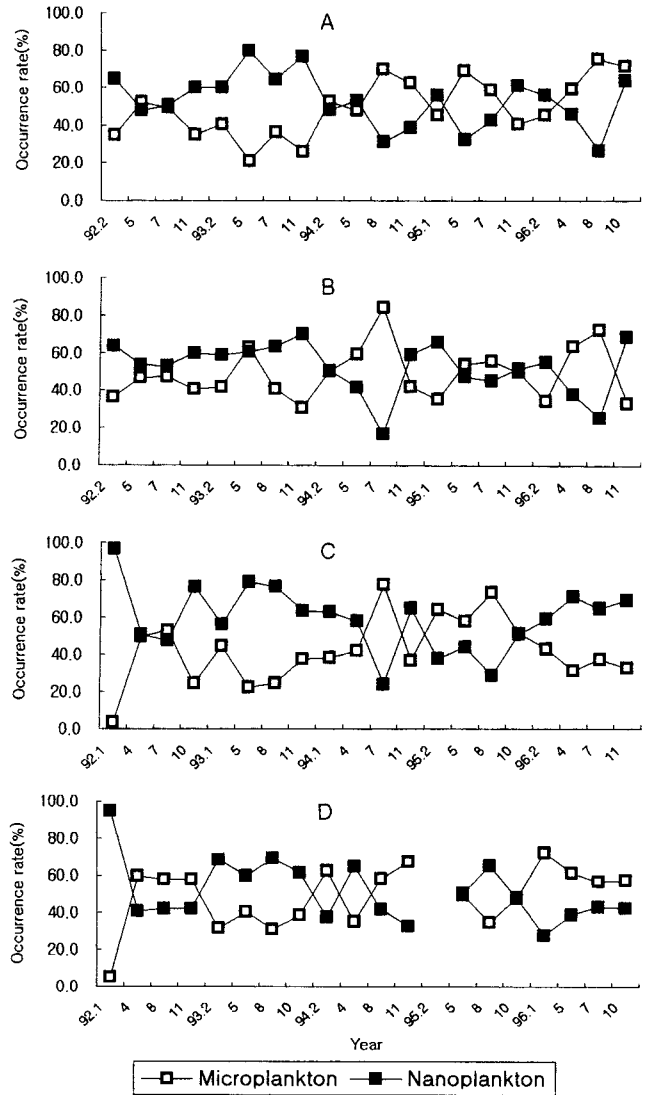
높고 가을철에 낮은 비교적 뚜렷한 계절적인 분포특성을 보인 반면에, 서해의 영광해역은 다른 계절에 비해 여름철에 낮은 계절분포를 나타내었다. Shim et al.(1989)은 동해 남부해역에서 15,100~144,600 cells/l의 규조류 현존량을 보고하였다.

소형플랑크톤(microplankton)에 대한 규조류의 점유율은 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 각각 20.5~99.2(평균 78.6)%, 25.2~99.7(평균 84.8)%, 19.0~99.4(평균 74.9)% 그리고 74.8~99.3(평균 95.1)%로 영광해역에서 가장 높고 울진해역에서 가장 낮았다. Shim et al.(1989)은 동해남부해역에서 약 77.0~95.8%의 규조류 점유율을 보고하여 본 연구해역보다 높았다. 울진해역에서 낮은 점유율을 보인 것은 상대적으로 와편모조류의 점유율이 높은 이유도 있지만, 다른 해역에 비해 규질편모류(*Distephanus* sp.)의 출현이 많았기 때문이다. Shim et al.(1989)은 *D. speculum*의 분포는 규조류가 급격히 감소하는 동해남부 외해역에서 주로 발견되고, 규산염 섭취를 위해 규조류와 경쟁한다고 하였다. 울진해역에서 규질편모류는 주로 수온이 낮은 가을철과 겨울철에 출현하였다. 영광해역에서 규조류의 높은 점유율을 보인 것은 수괴의 혼합이 활발하여 저층에서 부유한 *P. sulcata* 및 *Pseudo-nitzschia seriata* 등과 같은 부착 규조류가 다량으로 출현하였기 때문이다.

**와편모조류 현존량**

와편모조류는 현생종으로 약 2000여종이 출현하고 있으며, 규조류와 함께 해양에서 매우 중요한 역할을 담당한다(Taylor, 1987). 국내에서는 주로 진해와 마산만을 중심으로 남해안에서 적조생물로 출현하는 와편모조류에 대해 중점적으로 연구되어 왔으나(Yoo and Lee, 1979, 1980; 박주석, 1980, 1982; Kim et al., 1990; 한, 1990; 윤 등, 1991), 종합적인 생태학적 접근은 아직 미흡한 편이다(Shim, 1980; 이와 허, 1983; Yoo and Lee, 1987; 이 등, 1990; 한, 1990; Kim et al., 1991; Cho et al., 1993; 조 등, 1994). 우리나라 주변해역에서 출현하는 와편모조류는 약 170여종에 이르며(Lee and Cho, 1985). 본 연구해역에서는 총 97종이 보고되었다(강과 최, 2001). 고리해역은 2,232~493,924(평균 46,078) cells/l로 1993년 5월에 가장 적었고, *C. furca*가 117,949~785,566 cells/l의 높은 현존량을 기록한 1993년 7월에 가장 높았다(Fig. 6A-2). 계절별로는 평균 5,601~129,355 cells/l로 여름철에 높고 겨울철에 매우 낮았다. 월성해역은 1,656~243,258(평균 35,401) cells/l로 1993년 2월에 가장 낮았고 *P. triestinum*이 67,160~416,298 cells/l로 높은 현존량을 기록한 1992년 11월에 가장 높았다(Fig. 6B-2). 계절별로는 평균 6,355~64,021 cells/l로 봄철과 가을철에 높고, 겨울철에 가장 낮았다. 울진해역은 2,565~202,953(평균 32,906) cells/l로 1992년 4월에 가장 낮았고, 1995년 10월에 가장 높았는데(Fig. 6C-2), 이 시기에 *Prorocentrum* 속의 종들이 현존량에 많은 기여를 하였다. 계절별로는 평균 8,1613~72,942 cells/l로 가을철에 가장 높았고 봄철에 가장 낮았으며, 겨울철에도 비교적 높은 현존량을 유지하고 있었다. 서해의 영광해역은 0~71,689(평균 16,749) cells/l로 1992년 1월에는 전혀 출현하지 않았고, *Prorocentrum* 속의 종들이 높은 현존량을 보인 1996년 7월에 가장 높았다(Fig. 6D-2). 계절별로는 평균 6,283~39,637 cells/l로 여름철에 높고 겨울철과 가을철에 매우 낮았다. 전반적으로 동해 연안의 연구해역보다 낮은 현존량을 나타내었다.

고리해역은 여름철에 높은 현존량을 나타내었고, 울진은 가을



**Fig. 6.** Variations of occurrence rates of microplankton (>20 μm) and nanoplankton (<20 μm) in the coastal waters of Gori(A), Wolseong(B), Uljin(C) and Younggwang(D) during 1992-1996.

철에 높은 현존량을 기록하였다. 가장 많은 출현종수를 보인 월성해역(강과 최, 2001)은 불규칙한 계절분포를 나타내었다. 동해 연안해역의 연구해역보다 낮은 현존량을 보인 서해 영광해역은 여름철(7~8월)에 높은 현존량을 나타내는 비교적 뚜렷한 계절분포를 보이고 있었다(Fig. 6D-2). Shim et al.(1989)은 봄철에 동해 남부해역에서 1,600~18,900 cells/l의 와편모조류 현존량을 보고하였다.

소형플랑크톤에 대한 와편모조류의 점유율은 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 각각 0.9~78.3(평균 13.1)%, 0.40~62.5(평균 13.2)%, 0.6~81.0(평균 20.0)% 그리고 0.0~24.6(평균 4.2)% 이었으며, 울진해역에서 가장 높았고 영광해역에서 가장 낮았다. 계절별 점유율은 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 각각 4.7~23.8%, 5.80~30.2%, 4.8~35.7% 그리고 0.9~12.9%로 고리와 영광은 여름철에, 월성과 울진해역은 가을철에 높은 것으로 조사되었다. Shim et al.(1989)은 동해 남부해역에서 약 4.2~17.6%의 와편모

조류 점유율을 보고하였다.

**미소플랑크톤(nanoplankton, <20 μm) 현존량**

해양에서 미소플랑크톤의 중요성이 인식되기 시작한 1950년 이후로 국내외적으로 많은 연구논문들이 발표되었으며, 최근에는 식물플랑크톤 연구의 주요 대상이 되고 있다(이 등, 1989; 신 등, 1990; 심 등, 1996; Malone, 1980; Shim et al., 1985; Geider, 1988).

고리해역의 미소플랑크톤 현존량은 101,259~1,110,968(평균 353,113) cells/l로 1993년 7월에 가장 높았고, 월성해역은 67,145~1,670,884(평균 353,870) cells/l로 1994년 8월에 가장 높았다. 울진해역은 35,663~1,197,000(평균 379,838) cells/l로 1992년 1월에 가장 높았으며, 영광해역은 221,056~1,402,070(평균 714,846) cells/l로 1993년 1월에 가장 높았다(Fig. 4A-3~4D-3)). 동해연안의 고리, 월성 및 울진해역에서의 미소플랑크톤 현존량은 거의 유사하였으며, 서해 영광해역에서 가장 높게 나타났다. 계절별로는 고리, 월성, 울진 그리고 영광해역에서 각각 평균 272,585~480,759 cells/l, 270,201~515,696 cells/l, 273,600~490,293 cells/l 그리고 503,137~970,879 cells/l 이었으며, 동해연안의 고리, 월성 및 울진해역은 봄철에 높은 반면에 서해의 영광해역은 겨울철에 높게 나타났다.

황해에서 장과 심(1986)의 2,700~600,000 cells/l 보다는 높았지만, 천수만에서 신 등(1990)의 300,000~6,384,000 cells/l 그리고 고리해역의 심 등(1991)의 1,660,000~9,207,000 cells/l 보다는 훨씬 낮았다. 일반적인 해양에서 미소플랑크톤의 현존량인 1,000,000~2,000,000 cells/l(Geider, 1988) 보다도 낮아, 본 연구시기에 미소플랑크톤의 현존량이 다소 과소평가된 것으로 판단된다.

**소형 및 미소플랑크톤 출현율**

식물플랑크톤의 크기분포는 먹이사슬의 동태와 해양생태계의 에너지 전달 효율에 있어 매우 중요한 의미를 갖는다. 국내외의 여러해역에서 크기 분류군별로 상대적 중요성에 대한 많은 연구들이 있었다(신 등, 1990; 심 등, 1991; Margalef, 1978; Shim, 1980;

Furnas, 1983; Shim and You, 1985; Shim et al., 1985; Stockner and Antia, 1986; Chang et al., 1987; Marrase et al., 1989; Tremblay et al., 1997). 일반적으로 미소플랑크톤이 전체 식물플랑크톤 현존량의 약 80.0~100.0%을 차지하며, 해역과 계절에 따라 크기가 큰 소형플랑크톤보다 현저하게 안정되어 있다(Takahashi et al., 1982). 그러나 크기가 작은 미소 및 초미소플랑크톤에 대한 좀 더 정확한 정량화를 위해서는 해결해야 할 많은 문제점들이 남아 있다.

총 현존량에 대한 소형플랑크톤의 출현율은 고리해역에서 20.7~73.8(평균 48.8%), 월성해역에서 34.0~83.2(평균 48.6%), 울진해역에서 3.4~76.4(41.6%) 그리고 영광해역에서 5.3~72.2(48.7%)로 울진해역에서 가장 낮았고, 나머지 해역은 서로 유사하였다(Fig. 6). 고리해역은 1996년 8월, 월성과 울진해역은 1994년 7월에 최고의 출현율을 기록하였으며, 이 때 *Chaetoceros* spp.의 대증식이 있었다. 연구해역 모두 연구기간동안 출현율 변동은 거의 없었다. 한편, 미소플랑크톤의 출현율은 고리해역에서 26.2~79.3(평균 51.20)%로 1993년 5월에 가장 높았다. 동일해역에서 여(1992)의 출현율(>67.0%)보다 낮았다. 월성해역은 16.8~66.0(평균 51.4)%로 1993년 11월에 최대를 기록하였으며, 고리해역과 거의 유사하였다. 울진해역은 23.0~96.0(평균 58.0)%로 1992년 1월에 가장 높았으며, 영광해역은 17.0~94.0(평균 51.0)%로 조사되었다. 평균적으로 울진해역의 출현율이 가장 높았으며, 고리, 월성 그리고 영광해역은 매우 유사하게 나타났다. 한국 연근해에서 보고된 자료와 비교해 보면, 광양만의 12.0~46.0%(Shim et al., 1984), 황해의 46.0%(장과 심, 1986)보다는 높았고, 서해 연안해역의 30.0~70.0%(Han and Choi, 1991)과는 유사하였으며, 충무항의 43.0~99.0%(Shim and Lee, 1984), 동해 남부해역의 80.0~92.0%(Shim et al., 1985) 그리고 천수만의 39.0~93.0%(신 등, 1990)보다는 낮은 값이었다.

**엽록소 a 농도(1994~1996)**

고리해역에서 총 엽록소 a 농도는 0.94~4.43(평균 2.57) μg/l로 1995년 5월에 가장 높았다(Fig. 7A). 이 중 소형플랑크톤의 업

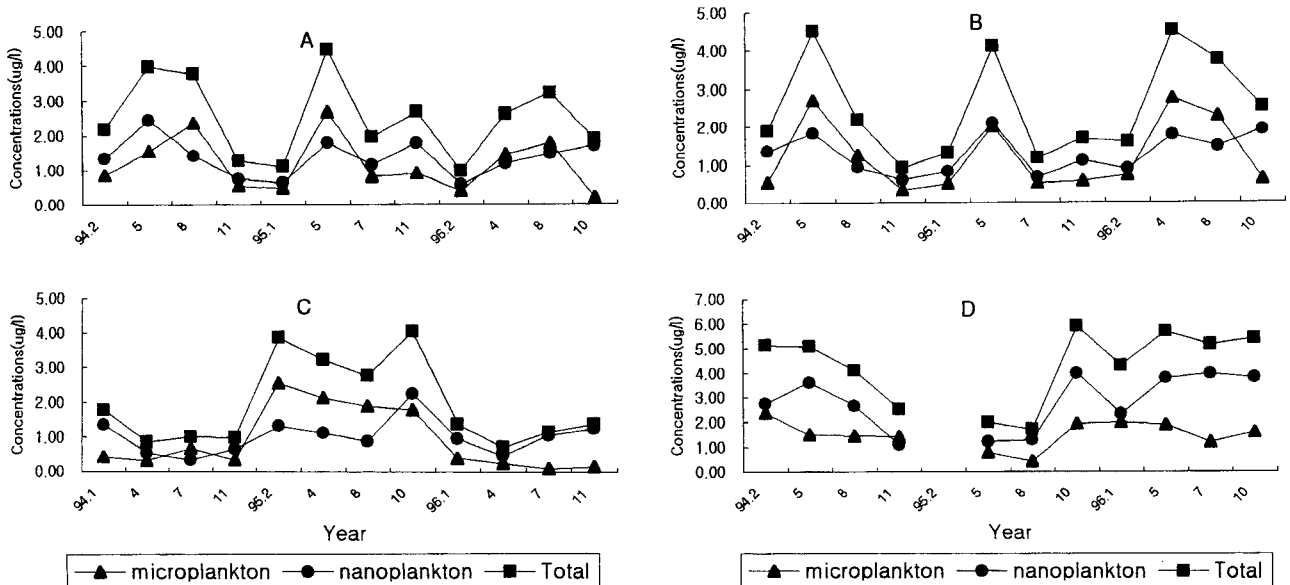


Fig. 7. Variations of size-fractionated chlorophyll-a concentrations in the coastal waters of Gori(A), Wolseong(B), Uljin(C) and Younggwang(D) during 1992-1996.

록소 *a* 농도는 0.18~2.65(평균 1.14)  $\mu\text{g/l}$ 로 *S. costatum*의 대증식이 발생한 1995년 5월에 가장 높았으며, 미소플랑크톤의 엽록소 *a* 농도는 0.56~1.78(평균 1.33)  $\mu\text{g/l}$ 로 1995년 5월에 가장 높았다. 동일해역에서 조(1988)의 1.08~3.76  $\mu\text{g/l}$ , 심 등(1996)의 2.01~5.88  $\mu\text{g/l}$ 과 유사하였다. 월성해역에서 총 엽록소 *a* 농도는 0.91~4.51(평균 2.16)  $\mu\text{g/l}$ 로 1994년 5월에 가장 높았다(Fig. 7B). 이 중 소형플랑크톤의 엽록소 *a* 농도는 0.32~2.74(평균 1.05)  $\mu\text{g/l}$ 로 1996년 4월에 가장 높았으며, 미소플랑크톤의 엽록소 *a* 농도는 0.59~2.09(평균 1.11)  $\mu\text{g/l}$ 로 1995년 5월에 가장 높았다. 동일해역에서 조(1988)의 1.90~7.55  $\mu\text{g/l}$  보다는 낮고, 한국전력공사(1996)의 0.15~4.19  $\mu\text{g/l}$  과는 유사하였다. 울진해역에서 총 엽록소 *a* 농도는 0.71~3.98(평균 1.67)  $\mu\text{g/l}$ 로 1995년 10월에 가장 높았다(Fig. 7C). 이 중 소형플랑크톤의 엽록소 *a* 농도는 0.09~2.53(평균 0.67)  $\mu\text{g/l}$ 로 1995년 10월에 가장 높았으며, 미소플랑크톤의 엽록소 *a* 농도는 0.47~2.22(평균 1.00)  $\mu\text{g/l}$ 로 1995년 10월에 가장 높았다. 동일해역에서 한국전력공사(1990, 1996)는 각각 0.09~3.90  $\mu\text{g/l}$ , 0.15~0.78  $\mu\text{g/l}$ 를 보고하였다. 영광해역에서 총 엽록소 *a* 농도는 1.71~5.88(평균 4.25)  $\mu\text{g/l}$ 로 1995년 10월에 가장 높

았다(Fig. 7D). 이 중 소형플랑크톤의 엽록소 *a* 농도는 0.42~2.36(평균 1.49)  $\mu\text{g/l}$ 로 1994년 2월에 가장 높았으며, 미소플랑크톤의 엽록소 *a* 농도는 1.09~3.96(평균 2.76)  $\mu\text{g/l}$ 로 1995년 10월에 가장 높았다. 동일해역에서 한국전력공사(1986)의 0.75~14.49  $\mu\text{g/l}$ , 조(1988)의 1.22~4.00  $\mu\text{g/l}$ 과 유사하였다. 식물플랑크톤의 총 엽록소 *a* 농도는 영광해역에서 가장 높았고 울진해역에서 가장 낮았으며, 소형 및 미소플랑크톤의 엽록소 *a* 농도 또한 영광해역에서 가장 높게 나타났다. 계절별로는 고리와 월성해역은 봄철에 높고 가을철에 낮은 경향을 보인 반면에, 울진과 영광해역은 불규칙한 계절변동 나타내었다(Fig. 7). 한국 연근해에서 식물플랑크톤의 엽록소 농도에 대한 자료를 정리하여 Table 2에 나타내었다. 서해는 0.07~14.49  $\mu\text{g/l}$ , 동해는 0.09~14.85  $\mu\text{g/l}$  그리고 남해는 0.10~43.18  $\mu\text{g/l}$  등 조사시기와 해역에 따라 상당한 차이를 보여주고 있었다. 한국 연근해역의 총 엽록소 농도인 0.09~43.18  $\mu\text{g/l}$ 에 비해 본 연구해역은 낮은 범위에 속하였다(Table 2).

총 엽록소 *a* 농도에 대한 크기구별 점유율을 살펴보면, 소형 플랑크톤의 점유율은 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 각각 9.8~65.6(평균 43.9)%, 24.3~61.0(평균 44.5)%, 8.0~65.0(평균

**Table 2.** Chlorophyll-*a* concentrations of phytoplankton in different region of Korea.

Area	Concentrations( $\mu\text{g/l}$ )	Period	References
<b>Yellow Sea</b>			
Yellow Sea	0.07~0.45	1983. 8	Chang and Shim(1990)(in Korean)
Younggwang coastal area	0.75~14.49	1985~1986	KEPCO(1986)(in Korean)
Younggwang coastal area	1.22~4.00	1986	Cho(1988)(in Korean)
Chonsu Bay	0.81~4.78	1985~1986	Shin <i>et al.</i> (1990)(in Korean)
Eastern coast of Yellow Sea	5.00~7.00	1986~1987	Choi(1991)(in Korean)
Middle eastern coast of Yellow Sea	0.45~4.11	1987	Han and Choi(1991)
Middle eastern coast of Yellow Sea	1.03~2.09	1989~1990	Kang(1991)(in Korean)
Kyeonggi Bay	1.32~2.63	1989~1990	Kang(1991)(in Korean)
Boryong, Seochon coastal area	2.28~4.31	1992	Lee and Lee(1997)(in Korean)
Yellow Sea	0.45~0.84	1994. 11	Chang and Shim(1993)(in Korean)
Yellow Sea	0.87~1.24	1994r	Chang and Shim(1994)(in Korean)
Younggwang coastal waters	1.71~5.88	1994~1996	Present study
<b>East Sea</b>			
Youngil Bay	0.29~3.07	1983~1984	Shim and Bae(1985)
Southwestern coast of East Sea	0.21~2.18	1984	Shim <i>et al.</i> (1985)
Gori coastal area	1.08~3.76	1986	Cho(1988)(in Korean)
Wolseong coastal area	1.90~7.55	1986	Cho(1988)(in Korean)
Gori coastal area	1.89~12.68	1987~1989	Yeo <i>et al.</i> (1991)(in Korean)
Southwestern coast of East Sea	0.50~14.85	1988~1990	Shim <i>et al.</i> (1992)
Southeastern coast of Korea	0.46~1.00	1990	Park <i>et al.</i> (1991)
Southeastern coast of Korea	0.21~8.26	1961~1990	Park <i>et al.</i> (1998)(in Korean)
Wolseong coastal area	0.15~4.19	1989~1990	KEPCO(1991)(in Korean)
Uljin coastal area	0.09~3.90	1990	KEPCO(1991)(in Korean)
Gori coastal area	2.01~5.88	1992	Shim <i>et al.</i> (1996)(in Korean)
Uljin coastal area	0.15~0.78	1994~1995	KEPCO(1996)(in Korean)
Gori coastal waters	0.94~4.43	1994~1996	Present study
Wolseong coastal waters	0.91~4.52	1994~1996	Present study
Uljin coastal waters	0.71~3.98	1994~1996	Present study
<b>South Sea</b>			
Geoje Island	0.11~1.22	1984~1985	Jin and Hong(1985)
Nakdong River Estuary	0.10~13.64	1985~1986	Cho and Huh(1988)(in Korean)
Masan Bay	3.00~24.00	1988	Pae and Yoo(1991)(in Korean)
Nakdong River Estuary	1.19~43.18	1989	Moon and Choi(1991)(in Korean)
Masan Bay	3.00~19.60	1989. 10	Han <i>et al.</i> (1991)

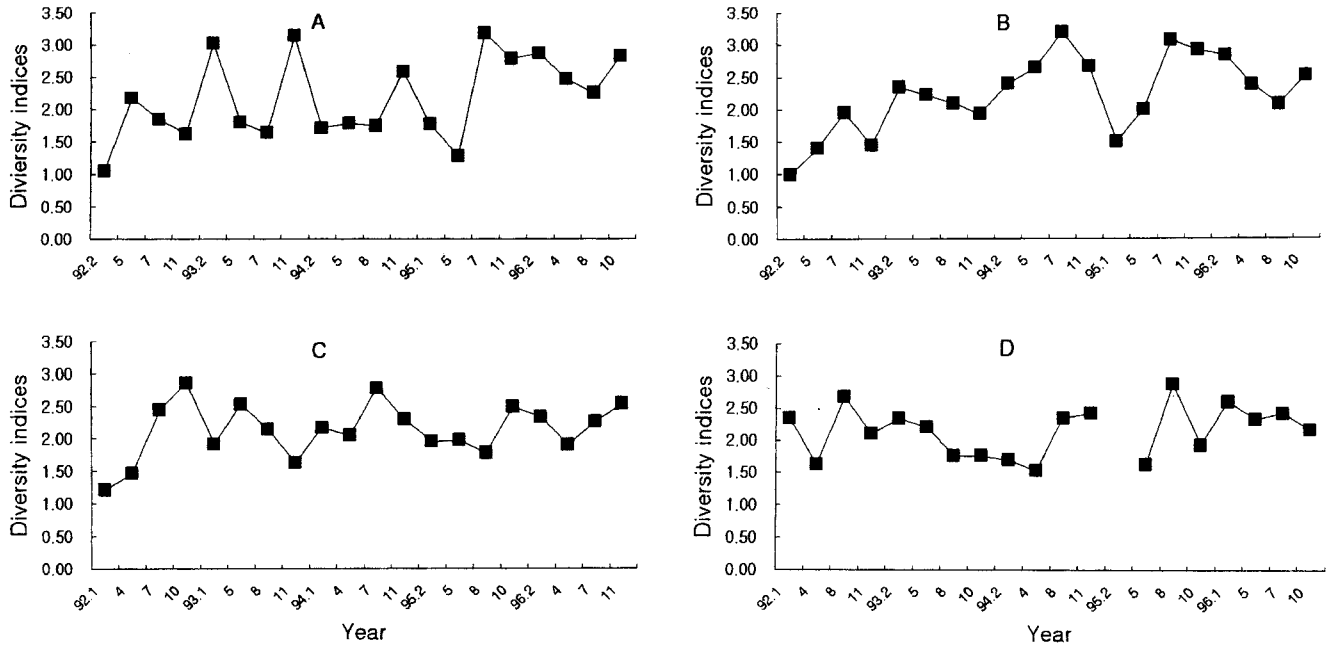


Fig. 8. Variations indices of phytoplankton species in the coastal waters of Gori(A), Wolseong(B), Uljin(C) and Younggwang(D) during 1992-1996.

39.1%) 그리고 23.2~56.6(평균 35.8)%로 영광과 울진해역보다 고리와 월성해역이 높게 나타났다. 미소플랑크톤의 점유율은 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 각각 34.5~90.2(평균 56.1)%, 39.0~75.7(평균 55.5)%, 35.0~92.0(평균 60.9)% 그리고 43.4~76.8(평균 64.2)%로 연구해역 모두 미소플랑크톤이 점유율이 높게 나타났다. 연구해역 모두에서 총 엽록소 *a* 농도의 연도별 변동은 소형플랑크톤보다는 크기가 작은 미소플랑크톤에 의해 좌우되었다(Fig. 7A~D). 이는 동해남부해역의 16.0~99.0%(Shim *et al.*, 1985), 동해의 25.0~83.0%(조, 1985), 황해의 평균 46.2%(Chang *et al.*, 1987), 64.0~83.0%(최 등, 1988), 경기만의 34.0~92.0(정과 박, 1988) 그리고 천수만의 39.0~93.0%(신 등, 1990)등과 비교하면 한국 연근해역의 미소플랑크톤 점유율은 대체적으로 유사하였다.

**종 다양성 지수**

종 다양성지수(species diversity index)는 현장에 존재하는 환경요인과 생물학적 상호작용에 대한 식물플랑크톤 군집의 반응의 결과로서 식물플랑크톤 군집구조를 평가하는 수단으로 이용되며, 이 지수는 환경요인들의 변화와 밀접한 관계를 보인다(Mukai and Takimoto, 1985). 그러나 종의 다양성지수는 계수오차의 영향을 받으므로 계수조사에 의한 식물플랑크톤 군집에서의 차이점을 파악하는 것은 매우 어렵다(Duarte *et al.*, 1990). 이러한 계수오차는 종 분류에 대한 모호한 동정, counting chamber내에서의 non-random 분포 및 종들간의 상호 복잡성으로부터 온다. 그럼에도 불구하고 종 다양성지수는 식물플랑크톤 군집의 생태적 개념으로 받아들여지고 있다(Hulbert, 1963).

연구기간동안 고리해역에서 식물플랑크톤의 종 다양성 지수는 1.05~3.14(평균 2.14)로 1992년 2월에 가장 낮았고, 1995년 7월에 가장 높았다(Fig. 8A). 1992년 2월에 매우 불안정한 군집구조를 나타낸 것은 이 시기에 *Ch. socialis*가 소형플랑크톤 현존량의

78.6%를 점유하였기 때문이다. 1995년 5월에도 규조류인 *S. costatum*과 *L. danicus*의 높은 현존량으로 인하여 불안정한 군집구조를 나타내었다. 전반적으로는 봄에 불안정하고 가을이 되면서 안정해지는 군집구조 양상을 띠고 있었다. 월성해역은 1.00~3.19(평균 2.22)로 1992년 2월에 가장 낮았고 1994년 7월에 가장 높았다(Fig. 8B). 고리해역과 마찬가지로 1992년 2월에 소형플랑크톤 현존량의 80.0%를 점유한 *Ch. socialis* 때문에 매우 불안정한 군집구조를 나타내었다. 고리해역과는 달리 전반적으로 겨울철에 불안정하고 여름철에 안정된 군집구조를 이루고 있었다. 울진해역은 1.21~2.86(평균 2.11)로 1992년 1월에 가장 낮았고 1992년 10월에 가장 높았다(Fig. 8C). 1992년 1월에는 *Cylindrotheca closterium*의 높은 우점율 때문에 다소 불안정한 군집구조를 나타내었다. 전반적으로 겨울철과 봄철보다는 여름철과 가을철에 안정된 군집구조를 이루고 있다. 서해 영광해역의 종 다양성 지수는 1.53~2.86(평균 2.24)로 *Th. decipiens*의 현존량이 높았던 1994년 4월에 가장 낮았고 1995년 8월에 가장 높았다(Fig. 8D). 전반적으로 봄철과 가을철보다는 겨울철과 여름철에 좀 더 안정된 군집구조를 이루고 있어 울진해역과 상반되었다. 동해연안의 고리, 월성 및 울진해역은 겨울철에 불안정한 군집구조를 보이다가 여름철을 지나 가을철이 되면서 안정해지는 군집구조를 보인 반면에, 서해 영광해역은 겨울철과 여름철에 안정된 군집구조를 보이고 있었다. 월성과 울진해역은 점차적으로 다양성 지수가 증가 추세에 있었고, 고리와 영광해역은 거의 지수변동은 없었다. 한국 연근해역에서 조사된 자료를 정리하여 Table 3에 나타내었으며, 연구시기와 해역에 따라 다양한 값을 보여 주었다. 한국 연근해역에서 종 다양성 지수는 약 0.03~4.44 정도였으며, 본 연구해역은 그 중간 범위에 속하였다. 따라서 본 연구해역은 강하구 및 만을 포함한 다른 연안해역에 비해 지수변동 폭이 적어 비교적 안정된 식물플랑크톤 군집구조를 이루는 것으로 나타났다.

**Table 3.** Diversity indices(H') of phytoplankton species in different region of Korea.

Area	Diversity indices	Period	References
Masan Bay	0.480~3.000	1974~1975	Yoo and Lee(1976)(in Korean)
Han River Estuary	1.416~4.281	1977~1978	Shim and Choi(1978)(in Korean)
Chonsu Bay	0.648~3.597	1977~1978	Shim and Lee(1979)(in Korean)
Duekyang Bay	0.028~3.759	1980~1981	Lee and Huh(1983)(in Korean)
Kwangyang Bay	0.370~2.600	1982	Shim <i>et al.</i> (1984)(in Korean)
Younggwang coastal area	0.830~3.780	1979~1980	KEPCO(1984)(in Korean)
Younggwang coastal area	1.900~2.400	1985~1986	KEPCO(1986)(in Korean)
Inchon coastal area	1.850	1983~1984	Shin and Choi(1988)(in Korean)
Yellow Sea	2.300~4.440	1983. 8	Chang and Shim(1990)(in Korean)
Jeju coastal area	1.040~3.720	1984	Lee <i>et al.</i> (1990)(in Korean)
Inchon coastal area	0.700~3.051	1988~1989	Hyun and Choi(1991)(in Korean)
Yellow Sea	0.100~3.540	1984	Chang and Shim(1993)(in Korean)
Mankyong, Dongjin River Estuary	0.440~2.650	1989~1990	Shim <i>et al.</i> (1991)(in Korean)
Gori coastal waters	1.050~3.149(2.140)	1992~1996	Present study
Wolseong coastal waters	1.000~3.190(2.220)	1992~1996	Present study
Uljin coastal waters	1.210~2.860(2.110)	1992~1996	Present study
Younggwang coastal waters	1.530~2.860(2.240)	1992~1996	Present study

**환경요인들과의 상관관계**

자연적인 수중 생태계에서 식물플랑크톤 군집구조에 미치는 물리, 화학 및 생물학적 환경요인들은 매우 다양하며, 그 변화정도와 크기 또한 너무 다양하기 때문에 식물플랑크톤 군집상에 환경인자들의 영향을 정량화하는 것은 매우 어렵다(Mukai and Takimoto, 1985). 본 연구에서는 식물플랑크톤 현존량과 이들에 미치는 무생물학적 환경요인들과의 상관관계를 분석하여 계절 및 해역별로 그 영향 정도를 이해하고자 하였다.

**고리해역:** 겨울철에는 부유물질과 투명도가 미소플랑크톤 및 전체 플랑크톤 현존량과 높은 상관관계를 나타내었으며, 소형과 규조류 현존량과도 의미있는 상관관계를 나타내었다(Table 4). 봄철에는 투명도가 미소플랑크톤과 전체 플랑크톤과 높은 상관관계를 나타내었다. 여름철에는 질산염이 소형플랑크톤과 의미있는 역(-)의 상관관계( $r=-0.63$ ,  $p<0.0005$ )를 나타내었고, 가을철에는 질산염이 외편모조류 현존량과 의미있는 상관관계를 나타내었다. 따라서 고리해역의 식물플랑크톤 분포는 겨울철과 봄철에는 물리적인 영향(빛의 투과 및 파동 등) 그리고 여름철과 가을철에는 영양염의 영향을 받는 것으로 판단된다.

**월성해역:** 겨울철에는 질산염과 부유물질이 전체적인 식물플랑크톤 현존량과 높은 상관관계를 보였으며, 가을철에는 여러 환경요인들이 전체 식물플랑크톤과 높은 상관관계를 나타내었다. 특히, 겨울철에는 부유물질 농도가 높은 상관관계( $r=0.84$ ,  $p<0.0005$ )를 나타내었다. 봄철에는 외편모조류와 염분도가 높은 상관관계( $r=0.86$ ,  $p<0.0005$ )를 나타낸 것이 주목할 만 하였다. 여름철에는 고리해역과 마찬가지로 질산염이 소형 및 규조류와 의미있는 역 (-)의 상관관계를 나타내었으며, 특히, 질산염과 투명도는 매우 높은 상관관계를 나타내었으며, 규조류는 수온과 역(-)의 상관관계를 나타내었다(Table 5).

**울진해역:** 봄철을 제외한 모든 계절에 인산염이 전체적인 식물플랑크톤 현존량과 높은 역(-)의 상관관계를 나타내었으며, 특히 여름철에 전체 현존량과 높은 역(-)의 상관관계를 나타내었다. 미소플랑크톤은 겨울철에 부유물질과 높은 상관관계( $r=0.79$ ,  $p<0.0005$ )를 나타내었고, 외편모조류는 여름철에 수온과 역(-)의 상관관계를

**Table 4.** Results of Pearson product moment correlation coefficient between standing crops and environmental variables in Gori during 1992~1996.

	Microplan kton	Nanoplan kton	Total	Diatom	Dinoflagellate
<b>Winter</b>					
Nitrate					
Phosphate					
Temperature					
Salinity					
Suspended solids	0.57**	0.70***	0.70***	0.57**	
Transparency	0.52**	0.67***	0.65***	0.53**	
<b>Spring</b>					
Nitrate					
Phosphate					
Temperature					
Salinity		-0.65***			
Suspended solids		-0.59**			
Transparency	0.54**	0.83***	0.65***	0.55**	-0.42**
<b>Summer</b>					
Nitrate	-0.63***		-0.55**	-0.36*	-0.41*
Phosphate	-0.54**		-0.43*	-0.41*	
Temperature					
Salinity	-0.55**		-0.42*	-0.36*	
Suspended solids		-0.43*	-0.41*		-0.38*
Transparency					
<b>Autumn</b>					
Nitrate		0.47*			0.56**
Phosphate					0.46*
Temperature		-0.46*	-0.48*		-0.41*
Salinity				0.47*	
Suspended solids					0.53**
Transparency					

\*:  $p<0.05$ , \*\*:  $p<0.005$ , \*\*\*:  $p<0.0005$

**Table 5.** Results of Pearson product moment correlation coefficient between standing crops and environmental variables in Wolseong during 1992~1996.

	Microplank-ton	Nanoplank-ton	Total	Diatom
<b>Winter</b>				
Nitrate	0.69***	0.70***	0.71***	0.70***
Phosphate			0.39*	0.42*
Temperature				
Salinity		0.50**	0.49**	
Suspended solids	0.75***	0.83***	0.84***	0.75***
Transparency				
<b>Spring</b>				
Nitrate				
Phosphate		0.51*		
Temperature				
Salinity				
Suspended solids				
Transparency				
<b>Summer</b>				
Nitrate	-0.61***	-0.47*	-0.54**	-0.60***
Phosphate	-0.42**			
Temperature				
Salinity				
Suspended solids				
Transparency				
<b>Autumn</b>				
Nitrate	0.68***	0.85***	0.82***	0.38*
Phosphate	0.46*	0.54**	0.53**	
Temperature	-0.52**	-0.39*	-0.47*	-0.70***
Salinity				0.75***
Suspended solids	0.52**	0.41*	0.43*	
Transparency	0.58**	0.70***	0.68**	0.53**

\*: p<0.05, \*\*: p<0.005, \*\*\*: p<0.0005

나타내었다. 다른 조사해역에 비해 인산염이 식물플랑크톤의 현존량 분포에 많은 영향을 주는 것으로 판단된다(Table 6).

**영광해역:** 겨울철에 투명도가 소형플랑크톤 및 규조류와 높은 역(-)의 상관관계를 보여 주었고, 봄철에는 인산염 그리고 여름철에는 질산염이 소형플랑크톤과 높은 상관관계를 나타내었다(Table 7). 영광해역에서 식물플랑크톤의 현존량과 환경요인들과의 낮은 상관관계를 보인 것은 이 해역이 수심이 매우 얇고 강한 조석의 영향 등으로 좀 더 복잡한 환경요인들이 식물플랑크톤 군집에 영향을 주기 때문인 것으로 판단된다.

연구해역과 계절에 따라 그 정도 차이는 있지만, 투명도, 부유물질 농도 및 영양염(NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P) 등이 식물플랑크톤 현존량 분포에 영향을 주는 것으로 조사되었다. 그러나 식물플랑크톤 군집상에 미치는 환경요인들의 영향에 대한 정량화를 위해서는 식물플랑크톤의 생태·생리적 특성 및 영양염 동태 등에 관한 실험실과 현장에서 좀 더 세밀한 연구들이 수행되어야 할 것이다. 본 연구해역의 식물플랑크톤 군집의 대부분이 광온 및 광염성의 연안종으로 구성되어 있기 때문에, 수온 및 염분의 변화는 식물플

**Table 6.** Results of Pearson product moment correlation coefficient between standing crops and environmental variables in Uljin during 1992~1996.

	Microplankton	Nanoplankton	Total	Diatom	Dinoflagellate
<b>Winter</b>					
Nitrate	-0.43*	0.54**		-0.42**	
Phosphate		-0.83***	0.63**		-0.58**
Temperature		0.41*	0.41*		-0.45*
Salinity		0.63***			-0.61**
Suspended solids		0.79***			-0.67***
Transparency			-0.48*		
<b>Spring</b>					
Nitrate	-0.42*			-0.40*	
Phosphate					0.58**
Temperature	-0.44*	-0.41**	-0.49*	-0.45*	
Salinity		-0.43**	-0.40*		
Suspended solids	0.48**		0.41*	0.49*	
Transparency					
<b>Summer</b>					
Nitrate		0.44*			
Phosphate	-0.63***	-0.57**	-0.72***	-0.65***	
Temperature					-0.65***
Salinity					
Suspended solids	-0.46*				0.54**
Transparency	-0.47*		-0.41*	-0.48*	
<b>Autumn</b>					
Nitrate	-0.42*	-0.43*	-0.45*		
Phosphate	-0.55**	-0.53**	-0.56**	-0.54**	-0.42*
Temperature					
Salinity					
Suspended solids					
Transparency					

\*: p<0.05, \*\*: p<0.005, \*\*\*: p<0.0005

랑크톤의 현존량 분포에 큰 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 한편, 본 연구가 다른 해역에 비해 연구가 상대적으로 빈약한 서해 남부의 영광과 동해 중부의 울진해역에서 식물플랑크톤 연구에 도움을 주리라 기대해 본다.

## 결론

우리나라 동해남부의 울진, 월성연안, 남해동부의 고리 그리고 서해 남부의 영광연안해역에서 1992년부터 1996년까지 계절별로 식물플랑크톤과 환경요인들이 조사되었다. 그 결과 조사해역의 식물플랑크톤의 현존량 및 환경요인이 연간 변동은 뚜렷한 경향을 보여주지 못하였다. 다만 영광해역에서 부유물질(SS)이 소량 감소하는 경향과 규산염이 소량 증가하는 양상을 보였고, 월성해역에서는 규산염이 소량 증가하는 경향을 보였다. 연구해역별 환경요인들의 5년간 평균 농도는 부유물질의 경우 울진, 월성, 고리 및 영광연안해역에서 각각 11.6, 16.7, 18.7 그리고 52.7 mg/l 였고, 투명도의 평균 분포는 각각 7.9, 5.4, 3.8 그리고 0.7 m였다. 규산



**Table 7.** Results of Pearson product moment correlation coefficient between standing crops and environmental variables in Younggwang during 1992~1996.

	Microplan- kton	Nano- plankton	Total	Diatom	Dinofla- gellate
<b>Winter</b>					
Nitrate					
Phosphate					
Temperature					
Salinity			-0.47*		
Suspended solids	-0.66***	0.42*			
Transparency	-0.83***	-0.65***		-0.82***	-0.41*
<b>Spring</b>					
Nitrate		0.65***	0.44*		
Phosphate	0.72***		0.65***	0.73***	
Temperature					
Salinity					
Suspended solids	0.43*		0.45**	0.43*	
Transparency					
<b>Summer</b>					
Nitrate	0.59***		0.38*	0.57***	
Phosphate					
Temperature					
Salinity		-0.66***			
Suspended solids					
Transparency		-0.39*			
<b>Autumn</b>					
Nitrate					
Phosphate					-0.41*
Temperature					-0.43*
Salinity					
Suspended solids					0.45*
Transparency		-0.40*			

\*: p<0.05, \*\*: p<0.005, \*\*\*: p<0.0005

염의 평균 농도는 울진, 월성, 고리 및 영광 연안해역에서 각각 0.250, 0.334, 0.328 그리고 0.292 mg/l 였고, 인산염의 평균 분포는 각각 0.006, 0.008, 0.007 그리고 0.009 mg/l 이었으며, 총 질소의 평균 분포는 각각 0.072, 0.094, 0.101 그리고 0.108 mg/l로 서해남부의 영광해역이 전반적으로 탁도와 영양염 농도가 높았으며, 울진해역은 낮은 영양염 농도와 높은 투명도를 나타내었다.

식물플랑크톤의 평균 총 현존량은 울진, 월성, 고리 및 영광해역에서 각각 656,245, 687,508, 710,659 그리고 1,278,173 cells/l로 영광해역이 다른 해역보다 월등히 높게 나타났다. 이 중 소형 플랑크톤의 현존량은 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 각각 평균 357,546, 333,638, 276,407 그리고 592,975 cells/l 이었으며, 미소플랑크톤의 현존량은 고리, 월성, 울진 및 영광해역에서 각각 평균 353,113, 353,870, 379,838 그리고 714,846 cells/l로 영광해역에서 가장 높게 나타났다. 규조류의 평균 현존량은 울진, 월성, 고리 및 영광해역에서 각각 238,758, 284,710, 282,009 그리고 574,563 cells/l로 영광해역이 다른 해역에 비해 2배가량 높게 나타났다. 그러나 와편모조류의 평균 현존량은 각각 32,906, 35,401,

46,078 그리고 16,749 cells/l로 영광해역에서 가장 적었고 고리해역에서 가장 높았다. 4개 조사해역에서 식물플랑크톤 현존량중 크기가 20 μm이하인 미소플랑크톤이 가장 많았고, 규조류는 와편모조류에 비해 약 6~34배정도 많은 현존량을 보였다.

N:P비는 1.0~165.0의 범위로 해역과 연구시기에 따라 큰 변화를 보여 식물플랑크톤의 성장 제한요인으로 일정한 경향을 보이지 않았다. 식물플랑크톤 현존량과 환경요인들과의 상관관계는 투명도, 부유물질 농도 및 영양염류가 시기에 따라 식물플랑크톤의 현존량과 관계가 있는 것으로 조사되었으나, 해역별 식물플랑크톤의 생태특성은 보다 정밀한 조사를 통하여 밝혀져야 할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 논문을 세밀하게 검토해 주신 두 분의 심사위원님께 깊은 감사사를 드리고, 현장조사시 많은 도움을 주신 한수원(주) 관계자 분들에게도 감사사를 드립니다.

### 참고문헌

강연식, 1991. 서해 중부 연안수역과 경기만에서 일차생산력과 동화율에 관한연구. 인하대학교 석사학위논문. 128pp.

강연식, 최중기, 2001. 고리, 월성, 울진 및 영광 연안해역의 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성 I. 종조성 및 분포(1992~1996). 한국조류학회지 **16**: 85 - 111.

김철호, 김 구, 1983. 한국 동해안에 출현하는 냉수괴의 특성과 기원. 한국해양학회지 **18**: 73 - 83.

문창호, 최혜지, 1991. 낙동강 하구 환경특성 및 식물플랑크톤의 군집구조에 관한연구. 한국해양학회지 **26**: 144 - 154.

박길순, 1982. 제주 연안해수의 영양염류에 관한연구. 한국수산학회지 **15**: 255 - 262.

박종규, 심재형, 이준백, 1998. 한국 동해, 남해역 식물플랑크톤 생물량의 장기적 변동과 의미, 한국조류학회지 **13**: 123 - 133.

박창길, 1975. 진해만 해수의 부영양화와 클로로필 분포. 한국수산학회지 **8**: 121 - 126.

박창길, 1978. 한국 동해안 냉수괴의 해양 화학적 고찰. 한국수산학회지 **11**: 49 - 54.

신동휘, 최중기, 1988. 인천연안 식물플랑크톤 군집이 조석에 따른 시간적 변화 연구. 황해연구 **1**: 11 - 31.

신윤근, 심재형, 조준성, 박용철, 1990. 천수만 식물플랑크톤의 상대적 중요성: 종조성, 개체수 및 일차생산력. 한국해양학회지 **25**: 217 - 228.

심재형, 1994. 한국동식물도감. 제 34권 식물편(해양식물플랑크톤), 교육부, 487pp.

심재형, 신윤근, 1989. 천수만 일차생산자의 생물량 - 식물플랑크톤 탄소량과 세포개체수 및 클로로필의 관계. 한국해양학회지 **24**: 194 - 205.

심재형, 신윤근, 이원호, 1984. 광양만 식물플랑크톤 분포에 관한 연구. 한국해양학회지 **19**: 172 - 186.

심재형, 신윤근, 여환구, 1991a. 만경, 동진강 하구 표영생태계의 무생물 환경과 일차생산자. I. 환경특성과 식물플랑크톤의 군집 구조. 한국해양학회지 **26**: 155 - 168.

- 심재형, 여환구, 신윤근, 1991b. 한국 연안해역에 있어서 온배수 배출의 생태학적 영향. I. 고리 원자력발전소 주변해역에서 미소 및 초미소 자가영양 플랑크톤의 중요성. 한국해양학회지 **26**: 77-82.
- 심재형, 이원호, 1979. 서해 천수만의 식물플랑크톤에 대하여. 한국해양학회지 **14**: 6-14.
- 심재형, 최중기, 1978. 한강하류에 있어서 부유성 조류군집의 구조 및 기능변화에 관한연구. 한국해양학회지 **13**: 31-41.
- 양한섭, 김성수, 1990. 금강 하류역에서 수질의 시공간적 변화특성. 한국수산학회지 **23**: 225-237.
- 양한섭, 김성수, 강창근, 조규대, 1991. 한반도 근해의 해류와 해수특성. III 한국 동해 중부 극전선역에 출현하는 수괴의 화학적 특성. 한국수산학회지 **24**: 185-192.
- 양한섭, 김평중, 이재철, 문창호, 1994. Ra 동위체로 본 하계 동해 남부 연안해역에 출현 하는 10이하 냉수괴의 기원. 한국수산학회지 **27**: 404-412.
- 양한섭, 문창호, 오석진, 이행필, 1997. 동해 극전선의 영양염류 순환과정. II. 1995년 동계 입자태 유기탄소 및 유기질소의 분포. 한국수산학회지 **30**: 442-450.
- 양한섭, 김성수, 김규범, 1995. 득량만 표층 수층 영양염류의 시공간적 분포특성 I. 영양 염류의 계절변화와 기초생산 제한인자. 한국수산학회지 **28**: 4755-485.
- 여환구, 1992. 온배수 유출해역 일차생산시스템의 환경생물학적 연구. 서울대학교 박사학위논문. 155pp.
- 유광일, 이종화, 1976. 마산만의 환경학적연구. 2. 식물플랑크톤의 연변화. 한국해양학회지 **11**: 34-38.
- 유광일, 이진환, 1982. 고리 원자력발전소 주변해역의 부유성 구조류에 대하여. 한국해양연구소보 **4**: 53-62.
- 윤양호, 노홍길, 김영기, 1991. 제주도 연안해역에 출현하고 있는 적조생물. 제주대학교해양연보 **15**: 1-14.
- 이광우, 박희상, 이수형, 이동수, 1978. 여름철 한국 연안해수의 영양염 함량. 한국해양학회지 **13**: 17-25.
- 이원호, 이진형, 최문술, 이다미, 1989. 군산부근 조간대 및 조하대역에서의 식물플랑크톤과 Bacterioplankton. 한국해양학회지 **24**: 157-164.
- 이원재, 정희동, 강창근, 박희열, 1986. 부영양화 해역의 해양세균이 분리 및 분리군의 생물학적 성질에 관하여. 1. 부영양화 해역의 환경 및 세균상. 한국수산학회지 **19**: 586-592.
- 이준백, 고유봉, 좌중훈, 1990. 제주도 해안선 주변 식물플랑크톤 군집의 구조와 동태. 한국조류학회지, **5**: 159-171.
- 이진환, 이은호, 1997. 화력발전소(보령,서천) 주변해역에서 식물플랑크톤 군집의 계절적인 변동. 한국조류학회지 **12**: 105-115.
- 이진환, 허형택, 1983. 득량만에 있어서 식물플랑크톤의 적조발생에 관한연구. 해양연구소보 **5**: 21-26.
- 장 만, 심재형, 1986. 춘계서해의 식물플랑크톤 연구. 해양연구 **8**: 1-11.
- 장 만, 심재형, 1993. 가을철 황해의 식물플랑크톤의 생태학적 연구. 해양연구 **15**: 15-28.
- 장 만, 심재형, 1994. 겨울철 황해의 식물플랑크톤의 생태학적 연구. 해양연구 **16**: 95-109.
- 장 만, 심재형, 이재학, 1990. 여름철 황해의 식물플랑크톤의 생태학적연구. 해양연구 **12**: 1-13.
- 정 준, 1993. 한국담수조류도감. 아카데미서적, 496 pp.
- 정창수, 심재형, 박용철, 박상갑, 1989. 한국 동해의 기초생산력과 질소계 영양염의 동적관계. 한국해양학회지 **24**: 52-61.
- 정경호, 박용철, 1988. 서해 경기만이 기초생산력과 질소계 영양염의 재생산에 관한 연구. 한국해양학회지 **23**: 194-206.
- 조기창, 1988. 원자력발전소 온배수가 식물플랑크톤의 생태에 미치는 영향. 인하대학교 이학석사학위논문. 79pp.
- 조규제, 최만영, 광승국, 임성호, 김대윤, 박종규, 김영의, 1998. 마산-진해만의 수질 부영양화 및 계절변동. 한국해양학회지 **3**: 193-202.
- 조창환, 1985. 가을철 한국 주변해역의 Microplankton 및 Nanoplankton의 클로로필 함량과 분포. 한국수산학회지 **18**: 63-66.
- 조창환, 1986. 한국 근해해역 식물플랑크톤의 출현 및 분포양상, 1930년대 ~ 1980년대. 한국조류학회지 **1**: 135-143.
- 조창환, 허성희, 1988. 낙동강 하구 부근의 식물플랑크톤 군집구조와 분포. 해양연구 **10**: 39-45.
- 조기안, 위인선, 최정일, 1994. 광양만 식물플랑크톤의 생태학적 연구. 환경생물학회지 **12**: 137-150.
- 최 상, 1966. 한국해역의 식물플랑크톤 연구 I. 1965년 하계의 한국해협 표층수의 식물 플랑크톤과 분포. 한국해양학회지 **1**: 14-21.
- 최 상, 1967. 한국해역 식물플랑크톤에 관한 연구 II. 한국연안수역의 식물플랑크톤. 한국해양학회지 **2**: 1-12.
- 최 상, 1969. 한국해역이 식물플랑크톤 연구 IV. 동해, 남해 및 서해해역의 식물플랑크톤. 한국해양학회지 **4**: 49-67.
- 최용규, 조규대, 1997. 1994년 11월 동해의 중층수의 분포. 한국수산학회지 **30**: 119-127.
- 최중기, 박용철, 김용철, 이영철, 정창수, 손승규, 황학진, 한범석, 1988. 서해 연안어장의 생산력 조사. 수진연구보고, **42**: 143-168.
- 한국원자력기술주식회사, 1980. 월성부지 환경조사 보고서(온배수 및 방사성 물질이 환경에 미치는 영향평가). 169pp.
- 한국전력공사, 1980. 원자력발전소 7, 8호기 부지환경특성조사 보고서. 온배수 및 방사성 물질이 환경에 미치는 영향평가. 175pp.
- 한국전력공사, 1980. 원자력발전소 9, 10호기 환경평가서. 온배수 및 방사성이 환경에 미치는 영향. 263pp.
- 한국전력공사, 1984. 원자력 7, 8호기 최종안정성 분석보고서 부지 특성보고서 제3권. 311pp.
- 한국전력공사, 1986. 원자력발전소 11, 12호기 건설사업 환경영향평가서. 879pp.
- 한국전력공사, 1989. 고리원전 주변환경 종합평가 및 관련 모델개발 최종평가서(II). KAERI/NSE-397/89. 489pp.
- 한국전력공사, 1990. 월성원자력 2호기 건설사업 환경영향평가서. 530pp.
- 한국전력공사, 1991. 울진원자력 3, 4호기 건설사업 환경영향평가서. 520pp.
- 한국전력공사, 1994. 영광원자력 5, 6호기 건설사업 환경영향평가서. 758pp.
- 한국전력공사, 1996. 울진원자력 5, 6호기 건설사업 환경영향평가서. 675pp.
- 한국전력공사, 1997. 원자력발전소 주변 일반환경조사 및 평가보고서('96년보). 642pp.
- 한명수, 1990. 유독플랑크톤(외편모조류를 중심으로)에 관한 고찰. 한국수산학회지 **23**: 51-60.
- 환경부, 1996. 수질오염공정시험법. pp. 323-394.
- 현정호, 최중기, 1988. 인천연안의 오염 및 환경변화에 따른 식물플랑크톤군집의 변화연구. 황해연구 **1**: 33-62.

- Aboud-Abi Saab, M., 1992. Day-to-day variation in phytoplankton assemblages during spring blooming in a fixed station along the Lebanese coast. *J. Plankton Res.* **14**: 1099–1115.
- Carpenter, E.J., C.C. Remsen and S.W. Watson, 1972. Utilization of urea by some marine phytoplankters. *Limnol. and Oceanogr.*, **17**: 265–269.
- Chang, M., J.H. Shim and H.T. Huh, 1987. Nanoplankton of the Korean Coastal waters. *Ocean Research* **9**: 7–14
- Cho, K.J., 1991. Spatial and Temporal Distribution of Phytoplanktonic and Periphytic Diatom Assemblages of Naktong River Estuary. *Korean Journal Phycol.* **6**: 47–63.
- Cho, K.J., I.K. Chung and J.A. Lee, 1993. Seasonal Dynamics of Phytoplankton Community in the Naktong River Estuary, Korea. *Korean Journal Phycology* **8**: 15–28.
- Choe, S., 1972. Studies on the seasonal variations of plankton organisms and suspended particulate matter in the coastal area of Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **7**: 47–58.
- Choi, J.K., 1984. The Ecological study of Phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. SNU Ph. D thesis 340pp.
- Choi, J.K. and J.H. Shim, 1986. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay. Yellow Sea. I. Environmental Characteristics. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **21**: 56–71.
- Choi, J.K. and J.H. Shim, 1986. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay. Yellow Sea. II. Light intensity, Transparency, Suspended substances. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **21**: 101–109.
- Choi, J.K. and J.H. Shim, 1986. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay. Yellow Sea. III. Phytoplankton Composition, Standing Crops. Tychopeagic Plankton. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **21**: 156–170.
- Choi, J.K. and J.H. Shim, 1988. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay. Yellow Sea. IV. Succession Mechanism and the Structure of the Phytoplankton. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **23**: 1–12.
- Cullen J.J., E. Stewart, E. Renger, R.W. Eppley and C.D. Winant, 1983. Vertical motion of the thermocline, nitracline and chlorophyll maximum layers in relation to currents on the Southern California Shelf. *J. Mar. Res.* **41**: 239–262.
- Duarte C.M., D.V. Marrase and M. Estrada, 1990. Counting error and quantitative analysis of phytoplankton communities. *J. Plankton Res.* **12**: 295–304
- Dugdale R.C., R.W. Krawiec and T.J. Smayda, 1975. Seasonal studies on the relative importance of different size-fractions of phytoplankton in Narragansett Bay, USA. *Mar. Biol.* **32**: 271–288.
- Eppley R.W., 1972. Temperature and phytoplankton growth in the sea. *Fish. Bull. U.S.* **70**: 1063–1085.
- Estrada M., 1984. Phytoplankton distribution and composition off the coast of Galicia (northwest of Spain). *J. Plankton Res.* **6**: 417–434.
- Estrada M., M. Alcaraz and C. Marrase, 1987. Effects of turbulence on the composition of phytoplankton assemblages in marine microcosms. *Mar. Biol. Prog. Ser.* **38**: 267–281.
- Frost B.W., 1991. The role of grazing in nutrient-rich areas of the open sea. *Limnol. Oceanogr.* **36**: 1616–1630.
- Furnas M.J., 1983. Community structure, biomass and productivity of size-fractionated summer phytoplankton population in lower Narragansett Bay, Rhode Island. *J. Plankton Res.* **5**: 637–655.
- Geider R.J., 1988. A abundances of autotrophic and heterotrophic nanoplankton and the size distribution of microbial biomass in the southwestern North Sea in the October 1986. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **123**: 127–145.
- Gilbert P.M., 1982. Regional studies of daily, seasonal and size fraction variability in ammonium remineralization. *Mar. Biol.* **70**: 209–222.
- Goldman J.C. and J.H. Ryther, 1976. Temperature-influenced species competition in mass cultures of marine phytoplankton. *Biotechnol. Bioeng.* **18**: 1125–1144.
- Han, B.S. and J.K. Choi, 1991. A study on the environmental conditions and phytoplankton ecology in the tidal front area of the Yellow Sea. *Yellow Sea Research* **4**: 39–55.
- Han, M.S., S.W. Kim and Y.O. Kim, 1991. Influence of Discontinuous Layer on Plankton Community Structure and Distribution in Masan Bay, Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.* **24**: 459–471.
- Hasle G.R., E.E. Syvertsen, K.A. Steidinger and K. Tangen, 1996. Identifying marine diatoms and dinoflagellates (Ed. by Tomas C.R.). Academic Press Sandiego, 598pp.
- Huston M., 1979. A general hypothesis of species diversity. *The American Naturalist* **115**: 81–101.
- Ignatiades L., 1979. The Influence of Water Stability on the Vertical Structure of a Phytoplankton Community. *Mar. Biol.* **52**: 97–104.
- Jo J.S., 1988. Primary Productivity and Nutrient Dynamics in Chunsu Bay, Yellow Sea. MS Thesis. Inha Univ., 65pp.
- Kang Y.Q., 1985. Influences of the Asian Monsoon and the Kuroshio on the Sea Surface Temperature in the Yellow, the Japan the East China Sea. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **14**: 26–31.
- Kim H.G., J.S. Park and S.G. Lee, 1990. Coastal Algal Blooms Caused by the Cyst-Forming Dinoflagellates. *Bull. Korean Fish. Soc.* **23**: 468–474.
- Kim H.G., J.S. Park and S.G. Lee, 1991. The Variation of Algal Cell Volume in the Monospecific Dinoflagellate Bloom in the Southeastern Coastal Water of Korea. *Korean J. Phycol.* **6**: 123–129.
- Kokkinakis S.A. and P.A. Wheeler, 1987. Nitrogen uptake and phytoplankton growth in coastal upwelling regions. *Limnol. and Oceanogr.* **32**: 1112–1123.
- Kremer P., 1977. Respiration and excretion by the ctenophore *Mnemiopsis leidyi*. *Mar. Biol.* **44**: 43–50.
- Kurashige, H., 1944. Quantitative and qualitative characteristics of the marine diatom in the coastal water at the Yellow Sea in comparison that at the southern coast of the peninsula. *J. Oceanogr. Soc. Japan.* **3**: 254–275.
- Lee, J.H., 1995. Additional check-list of marine planktonic algae in the coastal waters of Korea. I. Bacillariophyceae. Sangmyung Women's University, *J. Natural Sci.* **2**: 71–198.
- Lee, J.H. and C.H. Choi, 1985. Check-list of marine planktonic algae in the coastal waters of Korea. I. Bacillariophyceae. *Ocean Research* **7**: 19–47.
- Lee, J.C. and J.Y. Na, 1985. Structure of upwelling off the southwest coast of Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **20**: 6–19.
- Lee, K., J.K. Choi and J.H. Lee, 1995. Taxonomic studies on diatoms in Korea. Checklist. *Korean J. Phycol.* **10**: 13–89.
- Lee, W.H. and J.H. Shim, 1990. Distributions of Phytoplankton Standing crop and the Associated T-S Properties in the Southwestern East Sea (Sea of Japan). *J. Oceanogr. Soc. Korea* **25**: 1–7.

- Levasseur M., J.-C. Therriault and L. Lengendre, 1984. Hierarchical control of phyto plankton succession by physical factors. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **19**: 211–222.
- Ludwig, J.A. and J.F. Reynolds, 1988. *Statistical Ecology: A primer on methods and computing*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 337pp.
- Malone T.C., 1971. The relative importance of nanoplankton and netplankton as primary producers in tropical oceanic and neritic phytoplankton communities *Limnol and Oceanogr.* **16**: 633–639.
- Malone T.C., 1977b. Light-saturated photosynthesis by phytoplankton size fractions in the New York Bight, U.S. *Mar. Biol.* **42**: 281–292.
- Malone T.C., 1980. Size-Fractionated Primary Productivity of Marine Phytoplankton. In: *Primary Productivity in the sea* (P.G. Falkowski Ed.). Plenum Press, New York pp. 301–319.
- Margalef R., 1962. Succession in Marine Populations. *Advancing Frontiers of Plant Sciences* **2**: 137–188.
- Margalef R., 1978. Life-forms of phytoplankton as a survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta* **1**: 493–509.
- Marra J., 1978b. Phytoplankton photosynthetic response to vertical movement in a mixed layer. *Mar. Biol.* **46**: 203–208.
- Marrase C., C.M. Duarte and D. Vaquer, 1989. Succession patterns of phytoplankton blooms: directionality and influence of algal cell size. *Mar. Biol.* **102**: 43–48.
- McAlice B.J., 1970. Observation on the small-scale distribution of estuaries phytoplankton. *Mar. Biol.* **7**: 100–111.
- Meybeck M., 1982. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers. *Amer. J. Sci.* **82**: 401–450.
- Moon, C.H. and S.Y. Lee, 1994. Differences in in vivo Fluorescence Yield for Netplankton and Nanoplankton Size Classes. *Bull. Korean Fish. Soc.* **27**: 717–732.
- Mukai T., 1987. Effects of Micro-scale in situ Environmental Gradients Concerning Water Qualities on the Structure of the Phytoplankton Community in a Coastal Embayment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **25**: 447–458.
- Mukai T. and K. Takimoto, 1985. Effects of Environmental Gradients concerning Water Qualities on the Structure of Phytoplankton Community in the Coastal Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **20**: 169–181.
- Park Y.C., 1986. Nitrogen regeneration and glutamate dehydrogenase activity of macrozooplankton in the southeastern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea* **21**: 251–256.
- Park, J.S., C.K. Kang and K.H. An, 1991. Community Structure and Spatial Distribution of Phytoplankton in the Polar Front Region off the East Coast of Korea in Summer. *Bull. Korean Fish. Soc.* **24**: 237–247.
- Pattern B.C., 1962. Species diversity of net phytoplankton of Raritan Bay. *J. Mar. Res.* **20**: 57–75.
- Perkins, E.J., 1974. *The biology of estuaries and coastal waters*. Academic Press. London. 678pp.
- Preisendorfer R.W., 1986. Secchi disk science: Visual optics of natural waters. *Limnol. and Oceanogr.* **31**: 909–926.
- Raymont, J.E.G., 1980. *Plankton and Productivity in the Oceans* 2nd Ed. volume 1 Phytoplankton. Pergamon Press. pp489.
- Sanden B. and B. Hakansson, 1996. Long-term trends in Secchi depth in the Baltic Sea. *Limnol. and Oceanogr.* **4**: 346–351.
- Shim J.H., 1980. Biological Oceanography of the Gamagyang Bay - The Yeoja Bay Water System(I). *J. Oceanogr. Soc. Korea* **15**: 89–99.
- Shim J.H. and Y.C. Park, 1984. Community Structure and Spatial Distribution of Phytoplankton in the Southwestern Sea of Korea, in early Summer. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **19**: 68–81.
- Shim J.H. and S.J. Bae, 1985. The distribution of phytoplankton in Yeong-il Bay, Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **20**: 49–60.
- Shim J.H. and J.S. Yang, 1982. The Community Structure and Distribution of Phytoplankton of the Kum River Estuary. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **17**: 1–11.
- Shim J.H. and W.H. Lee, 1983. Plankton study in the southwestern sea of Korea(I) - Phytoplankton Distribution in September, 1981-*J. Oceanogr. Soc. Korea* **18**: 91–103.
- Shim J.H. and S.J. Yoo, 1985. Phytoplankton Community off the Coast of Kunsan, Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **20**: 31–42.
- Shim J.H. and W.H. Lee, 1987. Distribution of phytoplankton species and associated environmental factors in the Southwestern Waters of the East Sea (Sea of Japan), Korea: A canonical correlation analysis. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **22**: 34–42.
- Shim J.H. and H.G. Yeo, 1989. Spatial and Temporal Variations of Phytoplankton in Chonsu Bay. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **23**: 130–145.
- Shim J.H., W.H. Lee and S.Y. Bak, 1985. Studies on the Plankton in the Southwestern Waters of the East Sea(Sea of Japan)(II) - Phytoplankton Standing crop, nanofraction and primary production. - *J. Oceanogr. Soc. Korea* **20**: 37–54.
- Shim J.H., S.Y. Yang and W.H. Lee, 1989. Phytohydrography and the Vertical Pattern of Nitracline in the Southern Waters of the Korean East Sea in Early Spring. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **24**: 15–28.
- Shim J.H., H.G. Yeo and J.G. Park, 1992. Primary Production System in the Southern Waters of the East Sea, Korea. I. Biomass and Productivity. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **27**: 91–100.
- Smith S.V., 1984. Phosphorus versus nitrogen limitation in the marine environment. *Limnol. Oceanogr.* **29**: 1149–1160.
- Sommer U., 1994. The impact of light intensity and daylength on silicate and nitrate competition among marine phytoplankton. *Limnol. and Oceanogr.* **39**: 1680–1688.
- Stefansson, U. and F.A. Richards, 1963. Processes contribution to the nutrient distributions off the Columbia river and Strait of Juan De Fuca. *Limnol. and Oceanogr.* **8**: 194–210.
- Stockner J.G. and N.J. Antia, 1986. Algal Picoplankton from Marine and Freshwater Ecosystem: A Multidisciplinary Perspective. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **43**: 2472–2503.
- Stigebrandt A., 1991. Computations of oxygen fluxes through the sea surface and the net production of organic matter with application to the Baltic and adjacent seas. *Limnol. and Oceanogr.* **36**: 444–454.
- Takahashi M., I. Koiko, K. Iseki, P.K. Bienfang and A. Hattori, 1982. Phytoplankton species responses to nutrient changes in experimental enclosures and coastal waters. In: *Marine Mesocosms. Biological and chemical research in experimental ecosystems*, edited by Grice, G.D. and M.R. Reeve, Springer-Verlag, New York, pp. 332–340.
- Taylor F.R.G.(ed.), 1987. *The Biology of Dinoflagellates*. Blackwell

- Oxford, 705pp.
- Tilman D., 1977. Resource competition between planktonic algae: an experimental and theoretical approach. *Ecology* **58**: 338–348.
- Tompson P.A., M.E. Levasseur and P.J. Harrison, 1989. Light-limited growth on ammonium vs. nitrate: What is the advantage for marine phytoplankton?. *Limnol. and Oceanogr.*, **34**: 1014–1024.
- Tremblay J-E., L. Legendre and J-C. Therriault, 1997. Size-differential Effects of Vertical Stability on the Biomass and Production of Phytoplankton in a Large Estuarine System. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **45**: 415–431.
- Turpin D.H. and P.J. Harrison, 1979. Limiting Nutrient Patchiness and its Role in Phytoplankton Ecology. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* **39**: 151–166.
- Wafar M.V.M., P.Le Corre and J.L. Birren, 1983. Nutrients and primary production in permanently well mixed temperate coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **17**: 431–446.
- Wimpenny R.S., 1973. The Size of Diatoms V. The Effects of Animal Grazing. *J. mar. bio. Ass. U.K.* **53**: 957–974.
- Yamaji I., 1991. Illustrations of marine plankton of Japan. (3rd) Hoikusha, 538pp.
- Yoo, K.I. and J.W. Lee, 1976. Environmental studies on Masan Bay. 2. Annual cycle of phytoplankton. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **11**: 34–38.
- Yoo, K.I. and J.H. Lee, 1979. Environmental Studies of the Jinhae Bay. 1. Annual cycle of phytoplankton population, 1976–1978. *J. Oceanogr. Soc. Korea* **14**: 26–31.
- You S.J., J.G. Kim and G.S. Kim, 1994. Water Quality of the Yellow Sea in Summer. *Bull. Korea Fish. Soc.*, **27**: 825–835.

---

2001년 12월 7일 원고접수

2002년 7월 6일 수정본 채택

담당편집위원: 이상훈