

## 장수만 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포 특성

윤 양 호\*

전남대학교 해양기술학부

### Spatio-temporal Distribution of Phytoplankton Community in the Jangsu Bay and Adjoining Sea of South Sea, Korea

Yang Ho Yoon\*

Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

**Abstract** - This study describes about the spatio-temporal distributions in phytoplankton community such as species composition, standing crop and dominant species from May 2006 to February 2007 in the Jangsu bay and the northwestern parts of Gamak bay. Based on the principal component analysis (PCA) of the environmental factors as well as biological parameters, the bio-oceanographical characteristics were analysed. A total of 83 species of phytoplankton belonging to 47 genera were identified. Whereas diatoms and dinoflagellates occupied more than 65% and 30% of total species, respectively. The annual dominant species were *Chaetoceros affinis*, *Paralia sulcata* and *Bacillaria paxillifera* in spring, *Chaetoceros didymus*, *Ch. affinis* and *Octactis octonaria* in summer, *Skeletonema costatum*-like species and *B. paxillifera* in autumn. Moreover phytoplankton cell density was ranged between 3.1 cells · mL<sup>-1</sup> in spring and 521.0 cells · mL<sup>-1</sup> in winter. It fluctuated with an annual mean of 76.0 cells · mL<sup>-1</sup> between the lowest value of 7.6 cells · mL<sup>-1</sup> in spring and the highest value of 220.2 cells · mL<sup>-1</sup> by *Skeletonema costatum*-like species in winter. Briefly, the phytoplankton cell density in the mixing seasons was higher in comparison with the other seasons. According to the PCA, the biological oceanographic characteristics of the Jangsu bay was affected by the introduction of outside seawater particularly in temperature increasing seasons, and the other seasons, it may be described the light intensity, and mix between inner and outer bay sea waters.

**Key words** : spatio-temporal distribution, phytoplankton community, Jangsu bay, species composition, cell density, dominant species, PCA

## 서 론

식물플랑크톤은 해양생태계의 최하부 영양단계인 기초생산을 담당하는 생물군으로 해수의 용존 무기물과

광 에너지를 합성하여 유기물을 생산하는 생산자로서 해양의 무생물적 환경과 생물환경을 연결하는 기능을 담당한다. 때문에 식물플랑크톤 군집은 해양환경의 변화에 민감하게 반응하며 (Guinder *et al.* 2013), 고차 영양단계의 생물군집을 유지시키는 에너지원이 되고 있다. 이런 이유로 해양의 식물플랑크톤 군집은 해양생태계 구조해석과 해양환경의 변화를 해석하는 하나의 수단으로 널리 이용된다 (Garmendia *et al.* 2013). 한편 육상의 생활

\*Corresponding author: Yang Ho Yoon, Tel. 061-659-7142, Fax. 061-659-7149, E-mail. yoonyh@jnu.ac.kr

하수나 산업폐수의 과도한 배출로 해역의 부영양화가 진행된 연안 및 내만해역에서는 환경변화의 자극에 의해 이들 식물플랑크톤이 단시간에 이상 증식을 하여 적조와 같은 심각한 환경문제를 발생시키기도 한다(Yoon 2010).

장수만은 우리나라 남해 중앙부인 여수반도에서 분기된 고돌산 반도의 남쪽에 위치하는 소형 내만이다. 만의 서북쪽은 습지보전지구로 지정된 순천만과 보성만을 포함하는 여자만과 조발수로도 연결되어 있어, 여자만 입구의 역할을 하고 있다. 남쪽은 나로도와 금오열도에 의해 형성되는 개발된 해역인 붓돌바다와 연결되어 있다. 그리고 남동쪽은 고돌산 반도와 백야도 사이의 협수를 통하여 여수시 남단에 위치하는 가막만과 연결된다. 만내의 수심은 여자만과 연결되는 조발수로 등의 수로 부에서 30 m 이상을 보이기도 하지만, 만내는 수심 5 m 이내의 매우 얇은 천해이다. 장수만과 주변해역은 굴, 피조개 등 패류양식이 넓은 해역에서 이루어지고 있는 생물생산이 높은 해역이지만, 장수만을 대상으로 조사된 과학적 해양환경과 생물에 관한 연구결과는 극히 제한되어 있고, 일부 해양환경과 식물플랑크톤 생물량(엽록소 *a*)에 관한 결과(Yoon *et al.* 2012)가 있다.

따라서 이 연구에서는 높은 생물생산을 나타내면서, 순천만·보성만 습지지역을 포함하는 여자만의 해양환경 변화에 중요한 역할을 하는 장수만을 대상으로 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포와 변동 특성을 파악하여, 장수만의 생물 해양학적 환경특성을 고찰하여 보고자 한다.

## 재료 및 방법

장수만 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포 특성을 파악하기 위한 현장조사는 2006년 5월 27일(봄), 2006년 8월 8일(여름), 2006년 11월 25일(가을) 그리고 2007년 2월 3일(겨울) 등 4회에 걸쳐 만내, 수로부 및 가막만 일부를 포함하는 31개의 정점의 표·저층 해수를 대상으로 실시하였다(Fig. 1). 조사는 용선한 소형어선을 이용하였고, 정점 위치는 휴대용 GPS에 의해 확인하였다.

식물플랑크톤 군집 해석을 위한 표본은 반돈 채수기로 표층과 저층에서 1 m 위의 수층(B+1 m)의 해수를 채수하여 현장에서 중성포르마린으로 최종농도가 0.4%가 되도록 고정하였다(Thronsen 1978). 검경시료는 실험실에서 고정된 해수시료의 250 mL를 박막여과지(pore size; 5.0  $\mu\text{m}$ ,  $\Phi$ ; 47 mm)가 장착된 플라스틱 여과기를 이용하

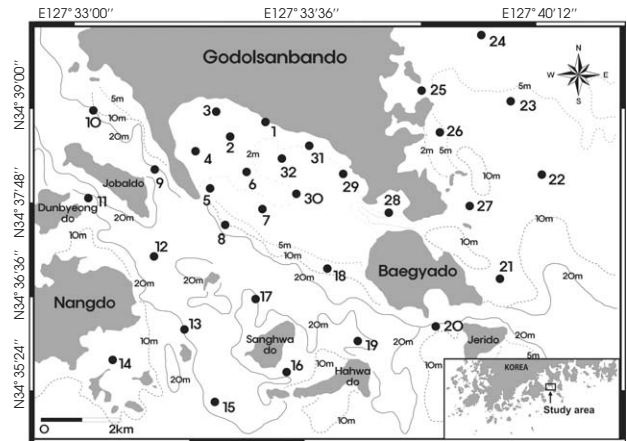


Fig. 1. Map show to sampling stations and bathymetry in Jangsu bay and adjoining sea.

여 자연낙하로 최종농도 5 mL가 되도록 농축하였다(Iizuka 1986). 정량 및 정성분석은 Sedgwick Rafter Chamber에 농축시료 1.0 mL를 micropipette으로 채취하여, DIC가 장착된 광학현미경(Olympus 50B)을 이용하여 종의 동정과 계수를 실시하였다(Cupp 1943; Dodge 1982; Chihara and Murano 1997; Tomas 1997). 종의 분류체계는 주로 Chihara and Murano (1997)와 Tomas (1997)의 내용을 준용하였다. 현존량은 해수의 단위체적당 식물플랑크톤 세포수로 환산하였고, 우점종은 전체 정점의 출현 세포수의 평균으로 5% 이상 우점률을 나타내는 종으로 한정하였다.

현장조사에서 Submersible Fluorometer (Alec Co., ACL 1151-D)에 의해 측정된 수심, 수온, 염분, 시스마 *t* 및 엽록소 *a*(아세톤에 의한 색소추출을 분석한 값과 보정하여 사용) 등의 환경인자와 식물플랑크톤 군집 및 우점종 자료를 종합적으로 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 주성분분석에 의한 장수만의 생물해양학적 특성 및 계절변화 동태를 해석하였다. 해석 가능한 주성분의 도출은 누적기여율 70%를 기준으로 하였다(Yoon 1989, 1992).

## 결과 및 고찰

### 1. 해황 개요

장수만에서 동일정점과 시기에 측정한 수온, 염분 및 시스마 *t*에 의한 해황변동을 보면(Yoon *et al.* 2012), 표층의 수온은 겨울 6.8°C에서 여름 30.0°C로 변화하여 23.2°C의 연교차를 보였고, 공간적으로는 여름을 제외하

**Table 1.** Seasonal variations of phytoplankton species composition in Jangsu bay from May 2006 to February 2007

Taxon	Depth	May		August		November		February		Total	
		G	S	G	S	G	S	G	S	G	S
Dinflagellates		4	8	10	20	6	8	6	6	10	25
Centric diatoms		12	20	19	28	15	18	17	29	20	36
Pennate diatoms		13	13	12	14	12	15	11	14	14	18
Zooflagellate		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Silicoflagellates		1	1	1	2	1	1	1	1	1	2
Euglenoid		1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
Total		32	44	43	65	35	44	37	52	47	83

G: genus/genera, S: species

면 1~2°C의 수온 차로 비교적 균일하였다. 다만, 여름의 공간변동은 22.6~30.0°C로 해역에 따라서는 7.4°C의 온도차를 보였다. 표층 염분도 여름 28.48 psu에서 겨울 33.81 psu로 변화하지만, 여름 이외의 공간적 분포 차이는 1.0 psu 이내로 균일하였다. 장수만의 해황은 수층에 관계없이 여름은 고온, 저염의 수괴를 형성하였고, 겨울은 저온, 고염의 수괴 특성을 보였다. 수온 상승기와 하강기에 해당하는 봄과 가을은 겨울과 여름, 여름과 겨울의 중간 특성을 보였으나, 봄이 가을보다 다소 높은 수온과 염분의 분포 특성을 나타내고 있다.

한국 남부해역의 수온과 염분의 분포는 온대해역의 계절변화 양상으로 겨울에는 연직혼합의 특성을 보이며, 일사량의 증가하는 봄에서 여름에는 표층 해수의 수온 증가와 높은 강수량으로 수온과 염분에 의한 밀도약층으로 성층이 발달한다. 때문에 일사량 증가에 의한 높은 수온과 강수량에 의한 담수유입이 많은 고수온기를 제외하면 장수만과 같은 소형내만에서 수온과 염분 등 해양지표의 공간적 분포 차이는 크지 않지만, 조석에 의해 내만해역 노출이 되는 넓은 천해역과 육상에서 배출되는 담수가 수로를 통해 교환되는 특성을 보였다. 장수만은 여름 태양복사와 여자만 내부의 벌교천, 동천 및 이사천에서 유출되는 담수 및 섬진강 수괴의 영향을 받고 있어, 공간적으로 수온과 염분의 변화를 나타내는 것으로 판단할 수 있다(Open University 1989).

## 2. 식물플랑크톤 군집

### 1) 종조성

2006년 5월에서 2007년 2월까지 4계절 장수만 및 주변해역에 출현한 식물플랑크톤 종은 47속 83종이었다. 분류군별로는 규조류가 34속 54종으로 65.1%의 출현 점유율로 보였고, 와편모조류가 10속 25종으로 30.1%, 규질편모조류가 1속 2종으로 2.4%, 그리고 유글레나조

류와 동물성 편모조가 각각 1속 1종으로 각 1.2%의 출현 점유율을 보였다(Table 1).

식물플랑크톤 출현종의 계절변화는 봄에 32속 44종으로 규조류가 25속 33종(85.1%), 와편모조류가 4속 8종(18.2%), 그리고 규질편모조류, 유글레나조류 및 동물성 편모조류가 각각 1속 1종(각 2.3%)으로 규조류에 의한 점유율이 높았다. 수층별로는 표층이 저층보다 다소 많았다. 여름은 43속 65종으로 규조류가 31속 42종(64.6%), 와편모조류가 10속 20종(30.8%), 규질편모조류가 1속 2종(3.1%), 그리고 동물성 편모조류가 1속 1종(1.5%)의 출현 점유율로, 봄보다 규조류의 점유율은 낮아진 반면, 와편모조류에 의한 점유율은 증가하였다. 수층별로는 봄과 같이 표층이 저층보다 다소 많았다. 가을은 35속 44종으로 규조류가 17속 33종(75.0%), 와편모조류가 6속 8종(18.2%), 그리고 규질편모조류와 동물성 편모조류가 각각 1속 1종(각 2.3%)으로 재차 규조류에 의한 점유율이 높았다. 수층별로는 표층이 저층보다 17종이 많이 출현하여, 저층은 표층의 59.5% 수준으로 봄과 여름보다 큰 차이를 보였다. 겨울은 37속 52종으로 규조류가 28속 43종(82.7%), 와편모조류가 6속 6종(11.5%), 그리고 규질편모조류, 유글레나조류 및 동물성 편모조류가 각각 1속 1종으로 2속 3종(5.8%)이 출현하였다. 수층별로는 가을과 유사하여 표층이 저층에 비해 15종 많았다.

장수만의 식물플랑크톤 군집을 구성하는 종은 연간 규조류에 의한 점유율이 높고, 고수온기 와편모조류 등 편모조류 출현종 비율이 높은 것은 한국 남서해역의 기존의 보고와 유사하나(Yoon *et al.* 1992; Nybakken and Bertness 2004), 출현 종수는 주변해역인 광양만(Shim *et al.* 1984; Cho *et al.* 1994; Yoon and Ko 2001), 붓돌바다(Jeong *et al.* 2000), 득량만(Lee and Lee 1999; Yoon 1999; Yoon and Kim 2003), 가막만(Yoon 1995, 2000) 보다는 낮았고, 완도 신지도 연안(Yoon 1998a)과 목포의 시아해

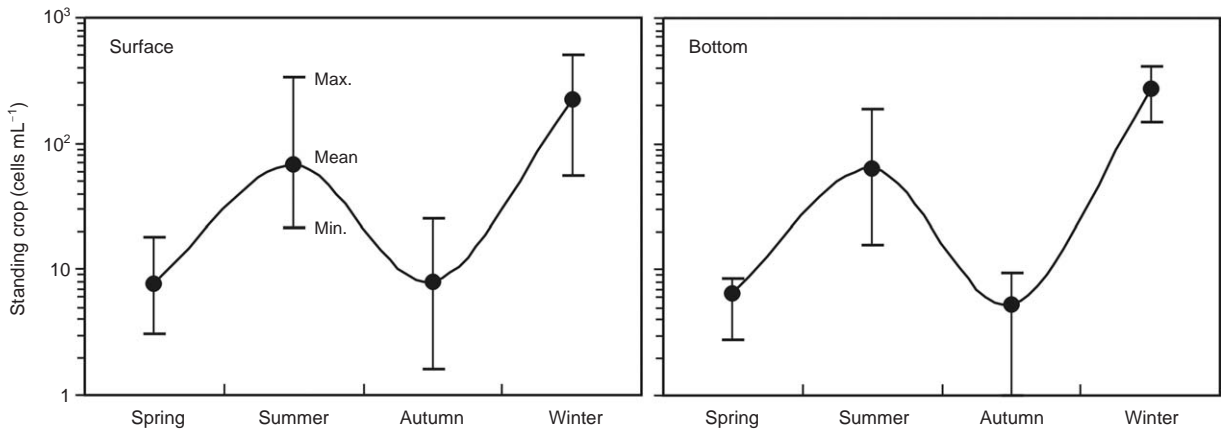


Fig. 2. Seasonal fluctuations of phytoplankton standing crop in Jangsu bay.

(Yoon 1998b)보다는 높았으며, 여자만 (Lee and Yoon 2000)과는 유사한 결과를 보였다. 다만, 기존 문헌과 중수의 비교는 연구자에 의해 중 동정 수준을 달리하고 있고, 조사 시기 등의 차이로 단순한 중수만으로 비교하는 것은 그다지 큰 의미를 부여하지 못한다 (Omori and Thorne-Miller 2006). 또한 한국 남서해역의 내만역은 매우 낮은 투명도를 나타내며, 저층보다 표층에 많은 편조조류가 출현하는 특성을 보이는 것은 분류군별 광합성에 적합한 광 조건이 다른 것 (Shaw and Purdie 2001; Gao *et al.* 2007; Villafae *et al.* 2008; Gerla *et al.* 2011)과 식물성 편모조류의 일주연직이동 (Gerbersdorf and Schubert 2011; Shulman *et al.* 2012)에 의한 결과로 판단할 수 있다.

## 2) 현존량

장수만 식물플랑크톤 군집의 현존량을 세포밀도로 표

시하면, 봄  $3.1 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서 겨울  $521.0 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 의 범위로 변화하여 겨울과 여름에 높고, 봄과 가을에 낮았다 (Fig. 2). 표층은 봄에  $3.1 \sim 17.8 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 의 범위에서  $7.6 \pm 4.3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 의 변동 폭을, 여름은  $21.2 \sim 338.8 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서  $68.0 \pm 64.0 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 가을은  $5.0 \sim 25.0 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서  $8.1 \pm 4.7 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  그리고 겨울은  $75.0 \sim 521.0 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서  $220.2 \pm 134.9 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 의 변동 폭을 나타내었다 (Fig. 2). 저층도 전체적으로 표층과 유사한 변화를 보여, 봄에  $2.8 \sim 11.8 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 의 범위에서  $6.5 \pm 2.3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 의 변화 폭을, 여름은  $15.6 \sim 187.6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서  $63.4 \pm 42.6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 가을은  $0.8 \sim 9.6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서  $1.5 \pm 2.0 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  그리고 겨울은  $149.0 \sim 332.2 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서  $274.4 \pm 102.5 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 의 변동 폭을 보여 표층보다 최대 출현 세포밀도는 낮았다 (Fig. 2).

표층 식물플랑크톤 현존량의 공간분포는 봄에 장수만

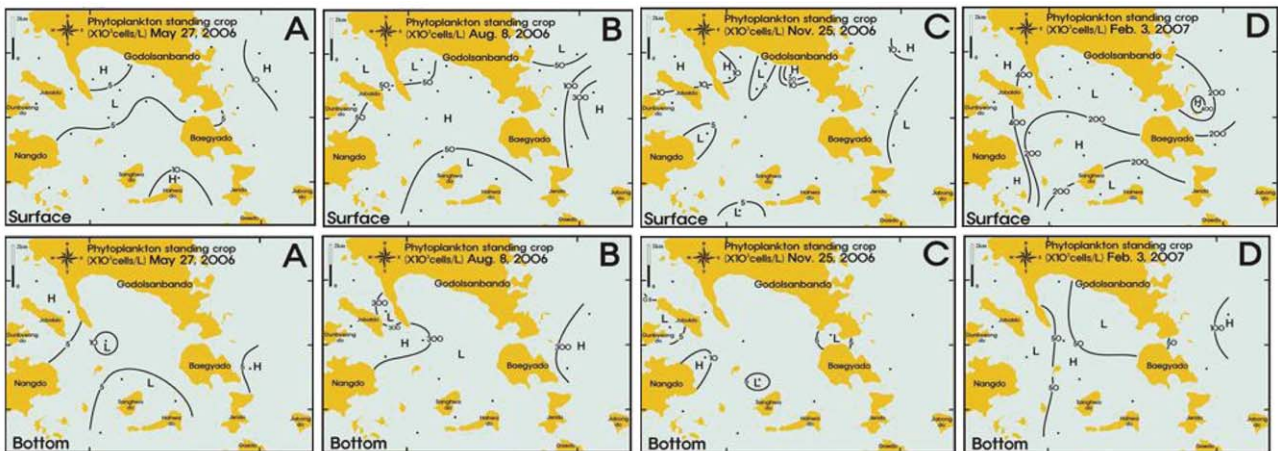


Fig. 3. Horizontal distributions of phytoplankton standing crop at surface (upper) and bottom (lower) layer in Jangsu bay.

**Table 2.** Percentage of diatoms and phytoflagellates on the phytoplankton standing crop in Jangsu bay.

Seasons	Percentage (%)					
	Surface			Bottom		
	Total	Diatoms	Flagellates	Total	Diatoms	Flagellates
Spring	100	98.5	1.5	100	98.7	1.3
Summer	100	85.9	14.1	100	91.5	8.5
Autumn	100	97.1	2.9	100	93.6	6.4
Winter	100	99.9	0.1	100	99.9	0.1

의 내만과 가막만의 서부해역과 같은 천해역에서 높았고, 중앙부의 수로부에서 낮은 세포밀도를 보였다 (Fig. 3A, upper). 여름은 뚜렷한 경향이 없이 수로부와 가막만 서부해역에서 높았고, 내만과 여자만 입구부 해역에서 낮았다 (Fig. 3B, upper). 가을은 여름과는 달리 여자만 입구부와 내만해역에서 높았고, 수로부 및 개방해역에서 낮았다 (Fig. 3C, upper). 그리고 겨울은 북돌바다 북부의 개방해역에서 낮은 세포밀도를 보이며, 내만해역으로 진행됨에 따라 세포밀도가 증가하였다 (Fig. 3D, upper). 저층은 봄에 전반적으로 낮은 세포밀도로 전 해역에서 균일하였다 (Fig. 3A, lower), 여름은 내만의 남쪽에서 띠 모양으로 높은 세포밀도를 (Fig. 3B, lower), 가을은 수로부에서 다소 높은 세포밀도를 보였지만, 전 해역에 비교적 균일한 분포를 하였다 (Fig. 3C, lower). 반면 겨울은 장수만 중앙부인 수로부에서 다소 낮았지만, 가막만과 낭도, 조발도 주변인 여자만 입구 해역에서 높았다 (Fig. 3D, lower).

장수만 식물플랑크톤의 최대 세포밀도인 겨울  $5.2 \times 10^2 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 는 생산성이 높은 내만해역의 값으로는 높은 밀도가 아니다 (Iizuka 1985). 인접하는 광양만 (Shim *et al.* 1984), 가막만 (Yoon 1995), 여자만 (Lee and Yoon 2000), 득량만 (Yoon 1999)에 비하면 낮은 밀도이지만, 완도와 목포 연안 해역 (Yoon 1998a, b)과 남서 개방해역 (Shim and Park 1984; Kim and Yoon 1997)보다는 다소 높은 수준이다.

또한 개방된 온대해역은 해수의 혼합과 성층 등의 계절변화와 동반하여 봄과 가을에 규조류에 의한 식물플랑크톤 대발생이 보고되나 (Nybakken and Bertness 2004), 장수만은 도리어 여름과 겨울에 높은 세포밀도를 나타내었다. 이런 현상은 강수 등에 의해 육상에서 영양염류 유입이 원활하거나 부영양화와 진행되는 연안과 내만 해역에서는 여름에 더욱 높은 세포밀도를 보이는 것이 보고된다 (Yoon 1989, 2011; Sun *et al.* 2011; Prins *et al.* 2012 etc). 그리고 식물플랑크톤의 광합성에 필요한 충분한 광 조건과 영양염류 공급이 원활한 내만 해역에서는

해수 혼합의 강한 겨울에 연중 가장 높은 세포밀도를 나타내기도 한다 (Wafar *et al.* 1983; Yoon 1995, 1999; Karthik *et al.* 2012).

식물플랑크톤 현존량에서 주요 분류군별 점유율을 보면, 여름을 제외한 모든 계절에 규조류에 의한 점유율이 약 95% 이상을 보이는 반면, 고수온기인 여름에만 표층의 식물플랑크톤 현존량의 14.1%, 저층은 8.5%가 와편모조류를 비롯한 식물성 편모조류에 의해 점유되었다 (Table 2).

장수만 식물플랑크톤 현존량의 시간적 변동에서도 종 구성과 같이 연중 규조류에 의한 점유율이 매우 높은 특성을 보이나, 고수온기인 여름과 가을에는 와편모조류 등 식물성 편모조류에 의한 점유율이 증가하였고, 많은 식물성 편모조류가 출현하는 것은 우리나라 남서해역의 일반적 경향이라 할 수 있다 (Yoon 1995, 2011). 이와 같이 와편모조류 등 식물성 편모조류가 특정 시기에 집중적으로 출현하는 것은 이들 분류군이 생활사 중에 휴면 포자인 시스트를 만들어 환경을 극복하는 생존전략을 가지고 있어, 특정시기에만 집중적으로 출현하기 때문이다 (Maynard Smith 1976; Dale 1983; Anderson 1984; Heiskanen 1993; Matsuoka *et al.* 2010; Yoon and Shin 2013). 그리고 개방된 외양역에서 식물플랑크톤 현존량의 연직분포는 표층보다 수온약층이나 보상심도 주변에 최대값을 보이지만 (Furuya *et al.* 2003; Villafae *et al.* 2008; Harrison and Smith 2011; Yoon 2013), 높은 생물량으로 투명도가 낮은 장수만과 한국 남서부의 내만 해역은 표층에서 높은 세포밀도를 나타낸다.

### 3) 우점종

장수만 식물플랑크톤 군집에서 계절별 우점종은 표층에서 봄에 규조류 *Chaetoceros affinis*와 *Paralia sulcata*가 각각 22.8%와 20.3%로 우점 출현하였고, 다음으로 규조류 *Bacillaria paxillifera*, *Thalassionema nitzschioides* 및 *Pleurosigma normanii*가 각각 11.1%, 6.7% 및 6.5%의 우점율을 나타내었다 (Table 3). 여름은 규조류 *Chaetoc-*

**Table 3.** Seasonal fluctuations of dominant species and dominance in Jangsu bay

Dominant species	Dominance (%)							
	Surface				Bottom			
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Spring	Summer	Autumn	Winter
<i>Bacillaria paxillifera</i>	11.1		11.1		8.8		21.5	
<i>Chaetoceros affinis</i>	22.8	14.7			32.0	27.6		
<i>Chaetoceros curvisetus</i>		6.3				20.6	7.5	
<i>Chaetoceros didymus</i>		34.3				9.1		
<i>Cylindrotheca closterium</i>			5.9				7.0	
<i>Octactis octonaria</i>		6.4						
<i>Paralia sulcata</i>	20.3		9.7		13.5		17.2	
<i>Pleurosigma normanii</i>	6.5						6.5	
<i>Skeletonema costatum</i> -like species			37.9	80.7				86.1
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	6.7				12.8			

ros 속의 *Ch. didymus*, *Ch. affinis*가 각각 34.3%와 14.7%로 우점 출현하였고, *Ch. curvisetus* 또한 6.3%의 우점률을 나타내었다. 규질편모조류 *Octactis octonaria*는 6.4%의 우점률로 출현하였다 (Table 3). 가을은 규조류 *Skeletonema costatum* 유사종과 *B. paxillifera*가 각각 37.9%와 11.1%로 우점하였고, 기타로는 *P. sulcata* 및 우상목 규조류 *Cylindrotheca closterium*이 9.7% 및 5.9%의 우점률을 나타내었다 (Table 3). 겨울은 다른 계절과는 달리 *S. costatum* 유사종에 의해 80.7%로 극우점하였다 (Table 3).

저층의 봄은 *Ch. affinis*와 *P. sulcata*가 각각 32.0%와 13.5%로 우점하여 표층보다 높은 우점률을 보였고 *Th. nitzschioides*, *B. paxillifera*가 각각 12.8% 및 8.8%의 우점률을 나타내었다 (Table 3). 여름은 *Ch. affinis* 및 *Ch. curvisetus*가 각각 27.6%와 20.6%의 우점률을, 그리고 *Ch. didymus*가 9.1%의 우점률로서 출현하여, 표층과 다른 경향을 보였다 (Table 3). 가을은 *B. paxillifera* 및 *P. sulcata*가 각각 21.5%와 17.2%의 우점률을 보였고, *Ch. curvisetus*, *C. closterium* 및 우상목 *P. normanii*가 각각 7.5%, 7.0% 및 6.5%의 우점률을 나타내었다 (Table 3). 그리고 겨울은 표층과 같이 *S. costatum* 유사종이 86.1%로 극우점하였다 (Table 3).

장수만의 식물플랑크톤 군집에서 우점종으로 출현하는 종은 계절에 따라 다소 차이는 있지만, 광양만 (Shim et al. 1984; Cho et al. 1994; Yoon and Ko 2001), 가락만 (Yoon 1995), 여자만 (Lee and Yoon 2000) 및 한국서남해역 (Yoon 2011) 등에서 우점 출현하는 종들이다. 다만 주변 해역에서 저수온기 최우점으로 출현하는 *Eucampia zodiacus*, *Asterionellopsis glacialis* 등은 출현하지만 우점하지 않고 있는 점이나, 규질편모조류인 *O. octonaria*가 높은 우점률은 아니지만, 우점하는 특성을 나타내었다. 특히 *O. octonaria*는 이전 *Distephanus speculum* 또는 *Dict-*

*yocha speculum*으로 동정되던 종으로 일본이나 우리나라 내만해역에서 비교적 높은 세포밀도로 출현한다 (Yoon 1989, 2014).

#### 4) 출현종의 계절변화

계절별로 장수만 식물플랑크톤 군집을 형성하는 출현 종 및 출현 상황을 정리하여 Table 4에 나타내었다. 장수만에서 4계절 모두 출현이 확인된 종은 외편모조류 *Nocutiluca scintillans*, 규질편모조류 *Dictyocha fibula*, 중심목 규조류 *Actinopterychus senarius*, *Chaetoceros affinis*, *Ch. curvisetus*, *Coscinodiscus gigas*, *Ditylum brightwellii*, *Licmophora lynbyei*, *Odontella aurita*, *Paralia sulcata*, *Proboscia alata*, *Skeletonema costatum*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira rotula* 및 우상목 규조류 *Amphiprotra alata*, *Cylindrotheca closterium*, *Pleurosigma normanii*, *Pseudo-nitzschia pungens*, *Surirella fastuosa*, *Tropidoneis lepidoptera* 등 20종으로 다양한 종들이 장수만의 토속적 출현종의 형태로 출현하였다 (Table 4). 그리고 3회 (3계절)에 걸쳐 출현한 종은 외편모조류 *Akashiwo sanguinea*, *Protoperdinium pallidum*, 중심목 규조류 *Chaetoceros decipiens*, *Ch. teres*, *Dactyliosolen fragilisimus*, *Leptocylindrus danicus*, *Odontella sinensis*, *Planktoniella blanda*, *Rhizosolenia setigera* 그리고 우상목 규조류 *Asterionellopsis glacialis*, *Bacillaria paxillifera*, *Grammatophora marina*, *Nitzschia sigma*, *Thalassionema frauenfeldii* 및 동물성 편모조 *Ebria tripartita* 등 15종으로 전체 35종이 3회 이상 출현하는 것으로 확인하였다 (Table 4).

장수만 식물플랑크톤 군집을 구성하는 종별 계절적 출현 양상에 대한 구체적인 비교 검토는 실시하지 않았지만, IOC-UNESCO에서 해양생태계에서 출현과 동태에 충분한 주의 및 관리를 요구하는 패류독화 원인종인 와

**Table 4.** Seasonal variations of phytoplankton species in Jangsu bay

Phytoplankton name	Spring	Summer	Autumn	Winter
<b>DINOFLAGELLATES</b>				
<i>Akashiwo</i> Hansen et Moestrup in Daugbjerg <i>et al.</i> 2000				
<i>Akashiwo sanguinea</i> (Hirasaka) Hansen et Moestrup		*	*	*
<i>Ceratium</i> Schrank 1793				
<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Clap. et Lachmann		*	*	
<i>C. fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin			*	*
<i>C. kofoidii</i> Jorgensen		*		
<i>Ceratium tripos</i> (Muller) Nitzsch		*		
<i>Dinophysis</i> Ehrenberg 1839				
<i>Dinophysis acuminata</i> Clapalede et Lachman	*	*		
<i>Gonyaulux</i> Diesing 1866				
<i>Gonyaulux polygramma</i> Stein		*		
<i>Gonyaulax</i> sp.		*		
<i>Gymnodinium</i> Stein 1878				
<i>Gymnodinium</i> sp.			*	
<i>Gyrodinium</i> Kofoid et Swezy 1921				
<i>Gyrodinium</i> sp.	*	*	*	*
<i>Noctiluca</i> Suriray ex Lamarch 1816				
<i>Noctiluca scintillans</i> (Macarthey) Ehrenberg	*	*	*	*
<i>Prorocentrum</i> Ehrenberg 1833				
<i>Prorocentrum dentatum</i> Stein		*		
<i>P. micans</i> Ehrenberg			*	
<i>P. triestinum</i> Schiller		*		
<i>Protoperidinium</i> Bergh 1881				
<i>Protoperidinium bipes</i> (Paulsen) Balech		*		
<i>P. claudicans</i> (Paulsen) Balech	*			
<i>P. conicum</i> (Gran) Balech		*		
<i>P. leonis</i> (Pavillard) Balech	*			
<i>P. oblongum</i> (Aurivillius) Park et Dodge	*			
<i>P. pallidum</i> (Ostenfeld) Balech	*	*	*	
<i>P. pellucidum</i> Bergh		*	*	
<i>P. torianum</i> (Paulsen) Balech		*		
<i>Protoperidinium</i> spp.	*	*		*
<i>Pyrophacus</i> Stein 1883				
<i>Pyrophacus steinii</i> (Schiller) Wall et Dale		*		
<i>Scrippsiella</i> Balech ex Loeblich III 1965				
<i>Scrippsiella spinifera</i> Honsell et Cabrini		*		
<i>S. trochoidea</i> (Stein) Loeblich III		*		*
<b>SILICOFLAGELLATES</b>				
<i>Dictyocha</i> Ehrenberg 1837				
<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg	*	*	*	*
<i>Octactis</i> Schiller				
<i>Octactis octonaria</i> (Ehrenberg) Hovasse		*	*	
<b>DIATOMS</b>				
<i>Actinoptychus</i> Ehrenberg 1841				
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	*	*	*	*
<i>Amphiprora</i> (Ehrenberg) Kutzing 1844				
<i>Amphiprora alata</i> (Ehrenberg) Kutzing	*	*	*	*
<i>Asterionellopsis</i> Round in Round <i>et al.</i> 1990				
<i>Asterionellopsis glacialis</i> (Cast.) Round in Round <i>et al.</i>	*	*		*
<i>Bacillaria</i> Gmelin in Linnaeus 1788				
<i>Bacillaria paxillifer</i> (Muller) Hende	*		*	*
<i>Bacteriastrum</i> Shadbolt 1854				
<i>Bacteriastrum delicatulum</i> Cleve		*		*
<i>B. hyalinum</i> Lauder		*	*	
<i>Chaetoceros</i> Ehrenberg 1844				
<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder	*	*	*	*
<i>Ch. compressus</i> Lauder		*		
<i>Ch. curvisetus</i> Cleve	*	*	*	*

Table 4. Continued

Phytoplankton name	Spring	Summer	Autumn	Winter
<i>Ch. danicus</i> Cleve		*		*
<i>Ch. debilis</i> Cleve	*	*		
<i>Ch. decipiens</i> Cleve	*	*		
<i>Ch. didymus</i> Ehrenberg		*		*
<i>Ch. socialis</i> Lauder				*
<i>Ch. teres</i> Cleve	*	*		*
<i>Chaetoceros</i> spp.	*	*		*
<i>Corethron</i> Castracane 1886				
<i>Corethron criophilum</i> Castracane				*
<i>Coscinodiscus</i> Ehrenberg 1886				
<i>Coscinodiscus gigas</i> Ehrenberg	*	*	*	*
<i>Coscinodiscus</i> spp.	*	*	*	*
<i>Cylindrotheca</i> Rabenhorst 1859				
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann et Lewin	*	*	*	*
<i>Dactyliosolen</i> Peragallo 1858				
<i>Dactyliosolen fragillissimus</i> (Bergon) Hasle		*	*	*
<i>Ditylum</i> Bailey 1862				
<i>Ditylum brightwellii</i> (West) Grunow ex Van Heurck	*	*	*	*
<i>Eucampia</i> Ehrenberg 1840				
<i>Eucampia cornuta</i> (Cleve) Grunow	*			
<i>E. zodiacus</i> Ehrenberg		*		*
<i>Grammatophora</i> Ehrenberg 1840				
<i>Grammatophora marina</i> (Lyngbye) Kutzing	*	*	*	
<i>Guinardia</i> Peragallo 1892				
<i>Guinardia flaccida</i> (Castracane) Peragallo	*	*		
<i>Guinardia striata</i> (Stolterfoth) Hasle		*		
<i>Gyrosigma</i> Hassall 1845				
<i>Gyrosigma fasciola</i> (Ehrenberg) Griffith et Henfrey	*			
<i>Hemiaulus</i> Ehrenberg 1844				
<i>Hemiaulus sinensis</i> Greville			*	
<i>Leptocylindrus</i> Cleve 1889				
<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve		*	*	*
<i>Licmophora</i> Agardh 1831				
<i>Licmophora lyngbyei</i> (Kutzing) Grunow	*	*	*	*
<i>Navicula</i> Bory 1822				
<i>Navicula</i> sp.		*	*	
<i>Nitzschia</i> Hassall 1845				
<i>N. longissima</i> (Brebisson ex Kutzing) Grunow				*
<i>N. sigma</i> (Kutzing) Smith				
<i>Odontella</i> Agardh 1832				
<i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) Agardh	*	*	*	*
<i>O. sinensis</i> (Graville) Grunow	*		*	*
<i>Paralia</i> Heiberg 1863				
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	*	*	*	*
<i>Planktoniella</i> Schutt 1892				
<i>Planktoniella blanda</i> (A. Schmidt) Syvertsen et Hasle	*	*	*	
<i>Pleurosigma</i> Smith 1852				
<i>P. angulatum</i> (Quekett) Smith			*	*
<i>P. normanii</i> Ralfs in Pritchard	*	*	*	*
<i>Podosira</i> Ehrenberg 1840				
<i>Podosira stelliger</i> (Bailey) Mann				*
<i>Proboscia</i> Sundstrom 1986				
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundstrom	*	*	*	*
<i>Pseudo-nitzschia</i> H. Peragallo in H. & M. Peragallo 1897-1908				
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden in Heiden et Kolbe		*		
<i>Pn. pungens</i> (Grunow ex Cleve) Hasle	*	*	*	*
<i>Rhizosolenia</i> (Ehrenberg) Brightwell 1858				
<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell		*	*	*
<i>Skeletonema</i> Greville 1865				



Table 4. Continued

Phytoplankton name	Spring	Summer	Autumn	Winter
<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve - like species	*	*	*	*
<i>Stephanophysis</i> Ehrenberg 1844				
<i>Stephanophysis palmeriana</i> (Greville) Grunow		*		*
<i>Surirella</i> Turpin 1828				
<i>Surirella fastuosa</i> Ehrenberg	*	*	*	*
<i>Surirella</i> sp.				
<i>Thalassionema</i> Grunow ex Mereschkowsky 1902				
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky	*	*	*	*
<i>Th. frauenfeldii</i> (Grunow) Hallegraeff		*	*	*
<i>Th. alassionema</i> sp.			*	
<i>Thalassiosira</i> Cleve 1873				
<i>Thalassiosira pacifica</i> Gran et Angst				*
<i>Th. rotula</i> Meunier	*	*	*	*
<i>Thalassiosira</i> spp.	*			*
<i>Tropidoneis</i> Cleve 1891				
<i>Tropidoneis lepidoptera</i> (Gregory) Cleve	*	*	*	*
EUGLEOID				
<i>Eutreptiella</i> Da Cunha 1914				
<i>Eutreptiella gymnastica</i> Thronsen	*			
ZOOFLAGELLATE				
<i>Ebria</i> Borgert 1891				
<i>Ebria tripatita</i> (Schumann) Lemmermann	*	*	*	

편모조류 *Dinophysis acuminata*와 신경성 패류독화 원인 종인 규조류 *Pseudo-nitzschia delicatissima*와 *P. pungens* 등 3종의 유해종이 포함되는 것 이외에 특이성은 없다. 다만 장수만에 4계절 출현하면서 겨울에 극우점하는 규조류 *S. costatum* 유사종은 우리나라 연안/내만해역은 물론 범지구적으로 부영양화가 진행되는 해역에 극우점하는 것으로 알려져 있다 (Iizuka 1985). 또한 21세기 이전까지 *Skeletonema* 속은 *S. costatum* 한 종으로 구성되었고, 일부 분자생물학적 연구에서 *S. costatum*에 다른 종이 포함될 가능성을 지적하기도 하였다 (Medlin *et al.* 1991). 그리고 최근 전자현미경과 분자생물학적 기법에 의한 분류의 재정립으로 Zingone *et al.* (2005)에서 Härnström *et al.* (2011)까지 “*Skeletonema shock wave*”가 발생하였다고 할 정도 (Smayda 2011 etc)로 종이 세분화 되어 (Chen *et al.* 2007; Sarno *et al.* 2007), 지금은 *Skeletonema* 속에 20종이 포함되는 것으로 정리되어 있다 (algaeBASE, <http://www.algaebase.org>). 또한 지금까지 연안·내만의 대표 종으로 보고되는 *S. costatum*의 출현량은 그다지 많지 않은 것으로 알려진다 (Yamada 2013). 때문에 여기에서도 기존 논문에서 *S. costatum*으로 분류하는 종을 위와 같은 종이 혼재하고 있을 것으로 판단하여 *S. costatum* 유사종으로 정리하여 두었다.

5) 주성분분석에 의한 장수만의 생물해양학적 환경특성 장수만 표층의 수온, 염분, 현장밀도, 수심, Chl-*a*, 식물

플랑크톤 출현종수, 규조류의 현존량, 식물성 편모조류의 현존량, 5% 이상 우점종의 현존량을 이용하여 누적 기여율을 70%를 기준으로 주성분분석을 실시한 결과, 제3주 성분까지 도출된 겨울을 제외한 계절에는 모두 제4주 성분까지 계산되었다 (Table 5). 그러나 이 논문에서는, 제1주 성분과 제2주 성분까지의 누적기여율이 50~60%로 과반 이상의 특성값을 도출하고 있어, 이 두 개의 주 성분만으로 장수만의 생물해양학적 환경특성을 해석한다.

봄 자료를 이용한 주성분분석의 인자부하량은 제1주 성분에 우점종의 세포밀도, Chl-*a*, 규조류 및 수온에 강한 양의 관계를 보이는 반면, 수심 및 저서성 생태 특성을 나타내는 규조류에 음의 관계를 나타내고 있어, 장수만의 식물플랑크톤 생물량에 관련되는 지표로 판단되었다. 제2주 성분은 염분, 밀도 및 출현종수와 규조류의 세포밀도에 강한 양의 관계를 보이며, 수온에 음의 관계를 나타내고 있어, 비교적 개방된 외해의 해양환경 특성에 관계하는 지표로 판단되었다. 즉 봄 장수만 식물플랑크톤의 생물량과 주요 우점종의 세포밀도는 비교적 높은 수온에 지배되는 한편, 출현종의 다양성과 규조류의 세포밀도 등은 장수만 남부의 비교적 개방된 환경의 고염수에 지배되는 것으로 해석되었다. 그리고 수심이 얕은 내만해역은 저서성 특성을 가지는 종에 의해 낮은 생물량을 보이는 것으로 판단되었다 (Fig. 4).

여름은 제1주 성분에 염분, 밀도, 수심, Chl-*a* 및 우점 규조류에 양의 관계를 보이는 반면, 수온에 강한 음의 관

**Table 5.** Results of principal component analysis (PCA) on the physiochemical and biological parameters in Jangsu bay

Seasons	Parameter number	Principal Component Analysis (PCA)			
		Principal component	1st	2nd	3rd
Spring	13	Eigenvalue	4.310	3.100	1.568
		Proportion (%)	33.2	23.8	12.0
		Accumulative proportion (%)	33.2	57.0	69.0
Summer	12	Eigenvalue	4.299	2.236	1.192
		Proportion (%)	35.8	18.7	14.9
		Accumulative proportion (%)	35.8	54.5	69.4
Autumn	12	Eigenvalue	3.681	2.401	1.743
		Proportion (%)	30.7	20.0	14.5
		Accumulative proportion (%)	30.7	50.7	65.2
Winter	9	Eigenvalue	3.434	2.049	1.415
		Proportion (%)	38.1	22.5	16.0
		Accumulative proportion (%)	38.1	60.9	76.6

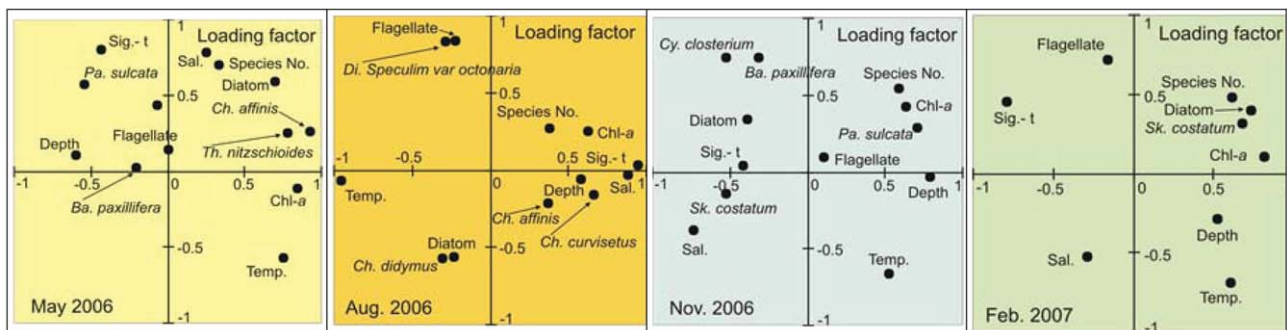
계를 보이는 것으로부터 상대적으로 낮은 수온을 보이는 수로부의 높은 생물량을 나타내는 지표로 판단되었다. 제2주성분은 편모조류 및 우점 규질편모조류에 강한 양의 관계를, 전체 규조류에 음의 관계를 보여, 중간경쟁을 나타내는 지표로 판단되었다. 즉 여름 장수만의 규조류를 중심으로 하는 식물플랑크톤 군집은 낮은 수온에 상대적 고염의 개방된 해양 환경에 영향을 받으며, 규질편모조류를 포함하는 편모조류와 규조류 사이에는 중간경쟁 등 반대작용이 있는 것으로 해석된다(Fig. 4).

가을은 제1주성분에 수심, Chl-*a* 및 일부 저서성 특성을 보이는 규조류에 양의 관계를 보였고, 염분, 밀도 및 전체와 우점 규조류에 음의 관계를 보여 저서성 규조류의 생산을 나타내는 지표로 판단되었다. 제2주성분은 주요 우점 규조류에 양의 관계를, 수온과 염분에 음의 관계를, 또한 약하지만 중심목 규조류와도 음의 관계를 보여, 식물플랑크톤 현존량과 관련된 지표로 판단되었다. 즉 가을의 식물플랑크톤 생물량과 저서성 특성을 보이는 우

상목 규조류는 수온하강기에 수심의 얇은 천해해역에서 높은 반면, 현존량은 상대적으로 높은 수온을 보이는 수로부에서 높은 특성을 보였다(Fig. 4).

겨울은 제1주성분에 수온, 수심, Chl-*a* 및 우점 규조류 및 현존량에 양의 관계를 보이며, 염분과 밀도에 음의 상관을 나타내는 것으로부터 높은 생물량에 관련되는 지표로 판단되었다. 제2주성분은 현장밀도 및 출현종수 및 규조류의 세포밀도에 양의 관계를, 수온과 염분에 음의 관계를 보이는 것으로부터 비교적 만외수의 영향을 강하게 받는 해수 특성을 나타내는 것으로 판단할 수 있었다(Fig. 4).

주성분분석에 의하여 연안해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 분포와 변화 특성을 해석하면, 대부분 식물플랑크톤 성장을 지배하는 영양 공급원과 외해수의 확장, 그리고 해수 혼합 정도에 지배되는 것으로 나타난다(Yoon 1989, 1992, 2014; Yoon and Park 2000). 장수만도 경향은 유사하여, 봄과 여름의 수온 상승기에는 붓돌바다



**Fig. 4.** Seasonal changes of loading factors of 1st and 2nd principal component by PCA (Parameters; Temp: water temperature, Sal: salinity, Sig.-t: sigma t, Chl-*a*: chlorophyll-*a*, Species No: species number, Diatom: diatom cell density, Flagellate: phytoflagellate cell density, *Ba.*: *Bacillaria*, *Ch.*: *Chaetoceros*, *Cy.*: *Cylindrotheca*, *Di.*: *Octactis*, *Pa.*: *Paralia*, *Sk.*: *Skeletonema*, *Th.*: *Thalassionema*).

등 개방해역에서 유입되는 해수 영향으로 높은 생물생산을 유지하고 있고, 가을과 겨울의 수온 하강기에는 생물량은 수심의 얇은 천해해역에서 높고, 현존량은 수로부에서 높은 밀도를 나타내었다. 특히 겨울은 해수 혼합의 원활한 천해해역에 높은 식물플랑크톤 생산을 나타내었다 (Wafar *et al.* 1983; Yoon 1999; Karthik *et al.* 2012). 이와 같은 결과는 주성분분석의 득점에 의한 해역의 구분에서도 동일하였다.

이와 같은 장수만의 생물학적 환경특성은 식물플랑크톤 성장에 영향을 주는 영양염류 공급원이 만 북부에 위치하는 여자만보다도 여수해만서부를 통하여 돌산도 동안 및 남해로 유출되는 섬진강 수계에 더욱 강한 영향을 받는 것으로 판단되었다. 즉 섬진강에서 배출되어 광양만과 여수해만 해수와 혼합되면서 돌산 동부해역을 따라 남하한 해수의 일부가 금오수도에 크게 영향을 미치는 것 (Yoon and Ko 2002) 으로부터 장수만도 이들 수괴의 영향을 강하게 받는 것으로 판단할 수 있었다.

## 적 요

한국 남해안의 중앙부에 위치하는 장수만의 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포특성과 생물해양학적 환경특성을 파악하기 위한 현장 조사를 2006년 봄부터 겨울까지 계절별로 장수만과 인근해역을 대상으로 하는 31개의 정점의 표·저층 해수를 대상으로 실시하였다. 장수만에서 출현이 확인된 식물플랑크톤은 47속 83종으로 규조류가 65.1%, 와편모조류가 30.1%를 차지하였고, 유해성 조류도 3종 출현하였다. 세포밀도로 표시한 식물플랑크톤 현존량은 봄  $3.1 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서 겨울  $521.0 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 의 범위로 겨울과 여름에 높고, 봄과 가을에 낮았다. 현존량은 정점 평균으로 표층에서 봄  $7.6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 여름  $68.0 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 가을  $8.1 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 그리고 겨울은  $220.2 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 를 나타내었다. 표층에서 우점종은 봄에 *Chaetoceros affinis*, *Paralia sulcata*, *Bacillaria paxillifera*, 여름에 *Chaetoceros didymus*, *Ch. affinis*, *Octactis octonaria*, 가을에 *Skeletonema costatum* 유사종과 *B. paxillifera*이 10% 이상의 우점률을 나타내었고, 겨울은 *S. costatum* 유사종에 의해 극우점 되었다. 주성분분석에 의한 장수만의 생물해양학적 특성은 봄과 여름의 수온 상승기에는 붓돌바다 등 개방해역에서 유입되는 해수 영향으로 높은 생물생산을 유지하고 있고, 가을과 겨울의 수온 하강기에는 생물량은 수심의 얇은 천해해역에서 높고, 현존량은 수로부에서 높은 밀도를 나타내었다. 특히

겨울은 해수 혼합의 원활한 천해해역에 높은 식물플랑크톤 생산을 나타내었다.

## 사 사

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2013005394) 결과의 일부이다.

## REFERENCES

- Anderson DM. 1984. The roles of dormant cysts in toxic dinoflagellate blooms and shellfish toxicity. pp. 125-138. In Seafood Toxins (Ragelis E ed.). American Chem. Soc. Symp. Series. Washington DC.
- Chen GF, GC Wang, BY Zhang and XL Fan. 2007. Morphological and phylogenetic analysis of *Skeletonema costatum*-like diatoms (Bacillariophyta) from the China Sea. *European J. Phycol.* 42:163-175.
- Chihara M and M Murano (eds). 1997. An Illustrated Guide to Marine Plankton in Japan. Tokai Univer. Press, Tokyo: 1571pp. (in Japanese)
- Cho KA, IS Wui and CI Choi. 1994. Ecological study of phytoplankton in the Kwang-yang bay. *Korean J. Environ. Biol.* 12:137-150. (in Korean)
- Cupp EE. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of north America. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr., Univ. Calif.* 5:1-237.
- Dale B. 1983. Dinoflagellate resting cyst. pp. 69-144. In *Survival Strategies of the Algae* (Fryxell GA ed.). Cambridge Univer. Press, Cambridge.
- Dodge JD. 1982. Marine dinoflagellates of the British Isles. Her Majesty's Office, London: 303pp.
- Furuya K, M Hayashi, Y Yabushita and A Ishikawa. 2003. Phytoplankton dynamics in the east China Sea in spring and summer as revealed by HPLC-derived pigment signatures. *Deep-Sea Res. II*, 50:367-387.
- Garmendia M, Á Borja, J Franco and M Revilla. 2013. Phytoplankton composition indicators for the assessment of eutrophication in marine waters: Present state and challenges within the European directives. *Mar. Poll. Bull.* 66:7-16.
- Gerbersdorf SU and H Schubert. 2011. Vertical migration of phytoplankton in coastal waters with different UVR transparency. *Environ. Sciences Europe*, 23,36, <http://www.enveurope.com/content/23/1/36>
- Gerla DJ, WM Mooij and J Huisman. 2011. Photoinhibition and

- the assembly of light-limited phytoplankton communities. *Oikos* 120:359-368.
- Guinder VA, CA Popovich, JC Molinero and J Marcovecchio. 2013. Phytoplankton summer bloom dynamics in the Bahía Blanca Estuary in relation to changing environmental conditions. *Cont. Shelf Res.* 52:150-158.
- Härnström K, M Ellegaard, TJ Andersen and A Godhe 2011. Hundred years of genetic structure in a sediment revived diatom population. *Proc. Nat'l. Acad. Sci. USA* 108:4252-4257.
- Harrison JW and REH Smith. 2011. Deep chlorophyll maxima and UVR acclimation by epilimnetic phytoplankton. *Freshwater Biol.* 56:980-992.
- Heiskanen AS. 1993. Mass encystment and sinking of dinoflagellates during a spring bloom. *Mar. Biol.* 116:161-167.
- 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)
- Iizuka S. 1986. Survey of Phytoplankton-Sampling, Fixation, Concentration, Counter and Identification. pp. 144-147. In *Manual on the Coastal Environments (Sediments and Biology)* (Oceanogra. Soc. Japan ed.). Koseisyakoseikaku, Tokyo. (in Japanese)
- Jeong HJ, JK Park, HY Choi, JS Yang, JH Shim, YK Shin, WH Yih, HS Kim and KJ Cho. 2000. The Outbreak of Red Tides in the Coastal Waters off Kohung, Chonnam, Korea 2. The Temporal and Spatial Variations in the Phytoplanktonic Community in 1997. *J. Oceanol. Soc. Korea (The Sea)* 5: 27-36. (in Korean)
- Karthik R, KM Arun, ES Sai, SR Siva and G Padmavati. 2012. Phytoplankton abundance and diversity in the coastal waters of port Blair, South Andaman Island in relation to environmental variables. *J. Mar. Biol. Oceanogr.* 1:2. doi:10.4172/2324-8661.1000102, 6p.
- Kim DI and YH Yoon. 1997. Environmental characteristics based on the phytoplankton communities in the Southwest Sea of Korea early winter. *Bull. Fish. Sci. Inst., Yosun Nat'l Fish. Univ.* 6:85-93.
- Lee JH and EH Lee. 1999. Water quality and phytoplankton red tide in Deukryang bay of Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 17:271-278. (in Korean)
- Lee JH and SM Yoon. 2000. Water quality and phytoplankton communities in Yeoja bay of Korea. *Algae* 15:89-98. (in Korean)
- Matsuoka K, A Mizuno, M Iwataki, Y Takano, T Yamatogi, YH Yoon and JB Lee. 2010. Seed populations of a harmful unarmored dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* Margalef in the East China Sea. *Harmful Algae* 9:548-556.
- Maynard Smith J. 1976. *The Evolution of Sex*. Cambridge University Press, Cambridge: 222pp.
- Medlin IK, HJ Elwood, S Stickel and ML Sogin. 1991. Morphological and genetic variation within the diatom *Skeletonema costatum* (Bacillariophyta): Evidence for a new species, *Skeletonema pseudocostatum*. *J. Phycol.* 27:514-524.
- Nybakken JW and MD Bertness. 2004. *Marine Biology: An Ecological Approach* (6th eds.). Benjamin Cummings, California: 592pp.
- Omori M and B Thorne-Miller. 2006. *Marine Biodiversity - Understanding Ocean Ecosystems to Protect the Earth*. Thukijishokan, Tokyo: 230pp. (in Japanese)
- Open Univ. 1989. *Seawater: its composition, properties and behaviour*. Pergamon Press, Oxford: 165pp.
- Prins TC, X Desmit and JG Baretta-Bekker. 2012. Phytoplankton composition in Dutch coastal waters responds to changes in riverine nutrient loads. *J. Sea Res.* 73:49-63.
- Sarno D, WHCF Kooistra, S Balzano, PE Hargraves and A Zingone. 2007. Diversity in the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae): III. Phylogenetic position and morphological variability of *Skeletonema costatum* and *Skeletonema grevillei*, with the description of *Skeletonema ardens* sp. nov. *J. Phycol.* 43:156-170.
- Shaw PJ and DA Purdie. 2001. Phytoplankton photosynthesis-irradiance parameters in the near-shore UK coastal waters of the North Sea: temporal variation and environmental control. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 216:83-94.
- 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.
- Shim JH, YK Shin and WH Lee. 1984. On the phytoplankton distribution in the Kwangyang bay. *J. Oceanol. Soc. Korea* 19:172-186. (in Korean)
- Shulman I, B Penta, MA Moline, SHD Haddock, S Anderson, MJ Oliver and P Sakalaukus. 2012. Can vertical migrations of dinoflagellates explain observed bioluminescence patterns during an upwelling event in Monterey Bay, California? *J. Geophys. Res.: Oceans* (1978-2012), 117, Issue C1, DOI: 10.1029/2011JC007480
- Smayda TJ. 2011. cryptic planktonic diatom challenges phytoplankton ecologists. *Proc. Nat'l. Acad. Sci. USA* 108:4269-4270.
- Sun C, Y Wang, M Wu, J Dong, Y Wang, F Sun and Y Zhang. 2011. Seasonal variation of water quality and phytoplankton response patterns in Daya bay, China. *Int'l. J. Environ. Res. Pub. Health* 8:2951-2966.
- Thronsdon J. 1978. Preservation and storage. pp. 69-74. In *Phytoplankton manual* (Sournia A ed.). Unesco, Paris.
- Tomas CR (ed.). 1997. *Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates*. Academic Press. Oxford: 858pp.

- Villafae VE, PJ Janknegt, M de Graaff, RJW Visser, WH van de Poll, AGJ Buma and EW Helbling. 2008. UVR-induced photoinhibition of summer marine phytoplankton communities from Patagonia. *Mar. Biol.* 154:1021-1029.
- Wafar MVM, PLe Corre and JL Birren. 1983. Nutrients and primary production in permanently well mixed temperate coastal waters. *Est. Coast. Shelf. Sci.* 17:431-446.
- Yamada M. 2013. recent studies on biodiversity and eco-physiological characteristics of the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae). *Bull. Plankton Soc. Japan* 60:18-28. (in Japanese)
- Yoon YH. 1989. Environmental Analysis of Phytoplankton growth in the Inland Sea of Japan with special reference to the occurrence of red tide. Ph.D Thesis, Hiroshima Univ.: 361pp. (in Japanese)
- Yoon YH. 1992. A environmental characteristics on phytoplankton growth in the coastal water of Yosu by multivariate analysis (MVA). *J. Korea Soc. Water Qual.* 8:141-149. (in Korean)
- Yoon YH. 1995. Seasonal dynamics of phytoplankton community and red tide organisms in the Northern Kamak bay, Southern Korea. *Bull. Mar. Sci. Inst., Yosu Nat'l Fish. Univ.* 4:1-15. (in Korean)
- Yoon YH. 1998a. The distributional characteristics of phytoplankton community in Wando Eastern coastal waters, Southwestern Korea. *Bull. Yosu Nat'l Univ.* 12:651-664. (in Korean)
- Yoon YH. 1998b. On the community structure and seasonal fluctuation of phytoplankton in Shiahae, Westsouthern Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 16:403-409. (in Korean)
- Yoon YH. 1999. The characteristics on the spatio-temporal distributions of phytoplankton communities in Deukryang Bay, southwestern Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 17:481-492. (in Korean)
- Yoon YH. 2000. A characteristics of the spatio-temporal distribution of phytoplankton community in northwestern Kamak bay, southern Korea. *Bull. Fish. Sci. Inst., Yosu Nat'l Fish. Univ.* 9:34-47. (in Korean)
- Yoon YH. 2010. Red Tides - Uprising from the Sea. Gibmoon-dang, Seoul: 531pp. (in Korean)
- Yoon YH. 2011. Marine environment and phytoplankton community in the southwest sea of Korea. pp. 68-93. In *The Plankton Ecology of Korean Coastal Waters* (Choi JK ed.). Donghwa Tech. Publ. Co., Seoul. (in Korean)
- Yoon YH. 2013. Vertical profiles of marine environments and micro-phytoplankton community in the continental slope area of the East China Sea in early summer 2009. *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy* 16:151-162. (in Korean)
- Yoon YH. 2014. Biological oceanographic characteristics and spatio-temporal distributions of phytoplankton community in the northwestern parts of Yeosuhae bay, South Sea of Korea. *Bull. Fish. Sci. Inst., Chonnam Nat'l Univ.* in press.
- Yoon YH, IS Kang and JS Park. 2012. Seasonal variations of chlorophyll *a* concentration in Jangsu Bay of South Sea, Korea. *Bull. Fish. Sci. Inst., Chonnam Nat'l Univ.* 20:49-57. (in Korean)
- Yoon YH and DG Kim. 2003. On the spatio-temporal distribution of phytoplankton community in the Southwestern parts of Deukryang Bay, South Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 21:8-17. (in Korean)
- Yoon YH and JS Park. 2000. The analysis of variational characteristics of water quality and phytoplankton by principal component analysis (PCA) in Kogum-sudo, south-western part of Korea. *J. Korean Environ. Sci. Soc.* 9:1-11. (in Korean)
- Yoon YH and SJ Ko. 2001. A check-list of phytoplankton species in Kwangyang bay and Yeosuhae bay, southern Korea. *J. Inst. Basic Sci., Yosu Nat'l Univ.* 3:77-95. (in Korean)
- Yoon YH and SJ Ko. 2002. Spatial distributions of thermohaline structure and phytoplankton community in the marine ranching area of archipelago of South Sea of Korea in summer. *Aqu. Indus. Sci. Res.* 17:25-33. (in Korean)
- Yoon YH, HG Rho and YK Kim. 1992. Seasonal succession of phytoplankton population in the Hamdok port, Northern Cheju Island. *Bull. Mar. Sci. Inst., Cheju Nat'l Univ.* 16: 27-42. (in Korean)
- Yoon YH and HH Shin. 2013. Summary on the dinoflagellate cyst assemblages of modern sediments from Korean coastal waters and adjoining sea. *J. Korean Environ. Sci. Soc.* 31: 243-274. (in Korean)
- Zingone A, I Percopo, PA Sims and D Sarno. 2005. Diversity in the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae): I. A reexamination of they type material of *S. costatum* with the description of *S. grevillei* sp. nov. *J. Phycol.* 41:140-150.

Received: 11 February 2014

Revised: 8 March 2014

Revision accepted: 10 March 2014