

Article

한국연안 3개 해초지 표층수에서 식물플랑크톤 군집구조의 계절 변화

이상용^{1*} · 이인우² · 최침일²

¹국립수산과학원 남해수산연구소
(556-823) 전남 여주시 화양면 안포리 347
²한양대학교 과학기술대학 해양환경과학과
(426-791) 경기도 안산시 상록구 사1동 1271

Seasonal Changes of Community Structure of Phytoplankton in Three Korean Seagrass Beds

Sang Yong Lee^{1*}, In Woo Lee², and Chung Il Choi²

¹South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI
Yeosu 556-823, Korea

²Department of Environmental Marine Sciences, College of Sciences and Technology
Hanyang University, Ansan 426-791, Korea

Abstract : To clarify the seasonal changes of the phytoplankton community in seagrass beds, the abundance and distribution of phytoplankton, and environmental factors were measured in seagrass beds: in the Dongdae Bay and Aenggang Bay on the southern coast of Korea, and off Seungbong Island on the western coast of Korea, in October 2002, January, March, and June 2003. Water temperature, salinity, SPM, chlorophyll *a*, aboveground biomass of seagrass, DIN and DIP concentrations significantly changed within the sampling time. The taxa of phytoplankton observed in seagrass beds were classified as 3 divisions, 3 classes, 4 orders, 16 families, 27 genera, 65 species. 50 species of diatoms were recognized with 14 species of dinoflagellates, and 1 species of silicoflagellate. The species of genera *Coscinodiscus* and *Thalassiosira* were dominant all around the study areas but *Peridinium granii*, *Eucampia zodiacus* and *Pleurosigma elongatum* were seasonally dominant. Phytoplankton standing crops varied from minimum of 0.6×10^3 cells l^{-1} (June, Dongdae Bay) to maximum 21.1×10^3 cells l^{-1} (March, Aenggang Bay). The standing crops and species composition of phytoplankton were relatively lower and simpler than those of other southern and western coastal areas. Seasonal variations of diatom standing crops in seagrass beds were attributed to seasonal changes in DIN and in DIP of water column.

Key words : phytoplankton, seagrass bed, Dongdae Bay, Aenggang Bay, Seungbong Island

1. 서 론

해초(seagrass)는 해수 중에서 생육하면서 꽃을 피우고, 수정하여 열매를 형성하는 해산식물이며, 연안 생태계의 일차 생산자로서 역할을 담당한다(den Hartog 1970). 한

국 연안에는 2속 7종의 해초가 자생하고 있으며, 제주도를 포함한 전 해역에 해초지(seagrass meadow)가 분포하고 있다(Lee 2001). 연안생태계에서 해초는 높은 생산력을 통해 풍부한 유기물질을 지속적으로 공급하며, 넓게 형성된 해초지는 다양한 해양생물들의 산란장, 서식처와 부착기질을 제공한다(Fonseca and Cahalan 1992; Hemminga and Duarte 2000). 식물플랑크톤은 해양생태계 내에서 일

*Corresponding author. E-mail : seagrass@skku.edu

차 생산자로서 먹이 연쇄의 기초를 이루며, 해양생물의 생산력과 수산자원의 잠재력을 추정할 수 있는 중요한 지표 생물이다. 또한 식물플랑크톤의 종조성과 군집은 그 지역의 해양환경의 특성을 파악하는 중요한 요인이 된다(윤 1998; 2000; 조 등 2000; 윤과 김 2003; 이 등 2005a; 2005b).

연안의 해초지에서 일차생산자는 식물플랑크톤, 저서 및 부착 조류와 해초로 구성되며, 해초는 가장 생산력이 높은 일차생산자로 구분된다. 해초지에서 식물플랑크톤은 부유성과 부착성 군집으로 구분되며, 해초의 엽신을 부착 기질로 이용하는 부착조류는 빛을 제어하고 탄소 이용을 방해하여 잎의 광합성을 감소시킨다(Sieburth and Thomas 1973; Sand-Jensen 1977). 연안에서 식물플랑크톤의 종 구성이나 현존량은 환경의 시·공간 변화에 따라 다르게 나타났다(문과 최 1991; 이와 부 1998; 조 등 2000; 이 등 2005a; 2005b), 해초지에서 부착 구조류의 군집 구조, 생산성과 개체군 동태 등은 생육환경 요인 뿐만 아니라 해초의 형태적 특성, 종 분포에 따라 다르게 나타났다(Jacobs and Noten 1980; Borum and Wiium-Andersen

1980; Jacobs *et al.* 1983; Borum, 1987; 정 2002).

본 연구는 남해안과 서해안의 해초지에서 식물플랑크톤 군집 구조의 계절변화를 조사하고, 식물플랑크톤의 현존량에 영향을 미치는 환경요인을 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

조사 지역

본 연구는 2002년 10월, 2003년 1월, 3월과 6월에 남해 연안에 위치한 동대만과 앵강만, 그리고 서해의 승봉도에서 해초지 생육환경 요인과 식물플랑크톤의 군집을 조사하였다(Fig. 1). 동대만(34°53'N, 128°03'E)은 남해도 북쪽에 위치하며, 좁고 긴 내만으로 사니질의 퇴적환경을 나타낸다. 앵강만(34°42'N, 128°01'E)은 남해도 남쪽에 외양과 연결되어 있으며, 퇴적물은 사질로 구성되어 있다(Lee *et al.* 2005a). 승봉도(37°05'N, 126°15'E)는 서해 중부연안에서 약 30 km 정도 서쪽에 위치한 섬으로 퇴적물은 세립하거나 조립한 사질로 구성되어 있다(Lee *et al.* 2005b). 동대만과 앵강만의 조석은 일조부등으로 조석 차는 -0.2 m

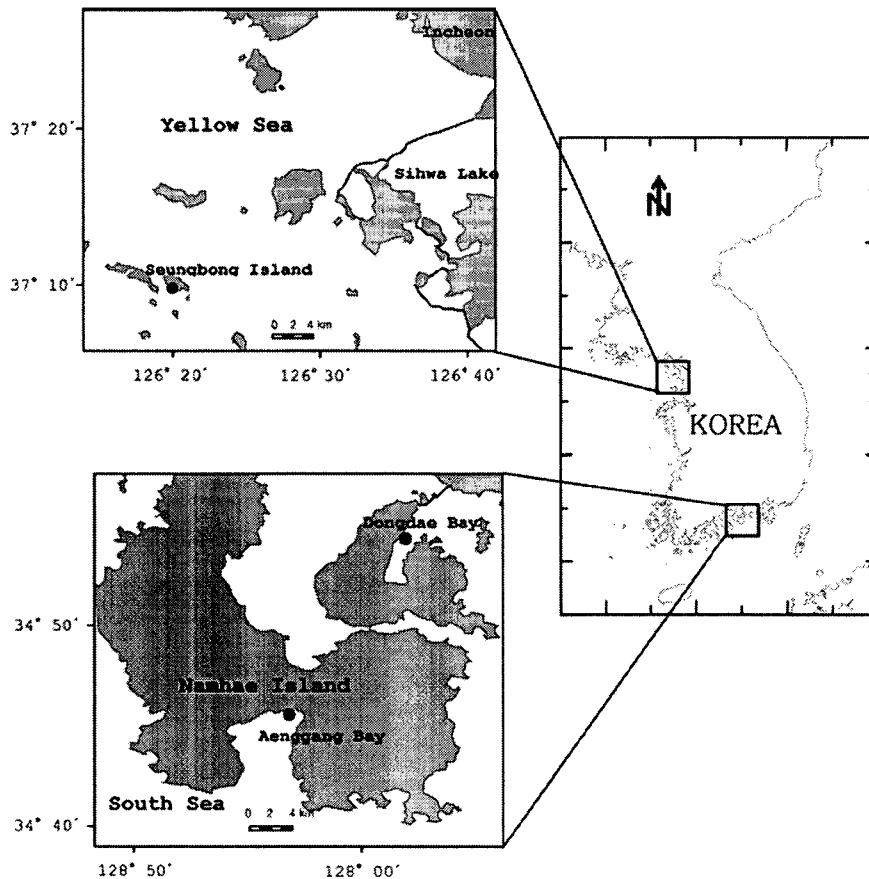


Fig. 1. Map showing the study sites in Dongdaeg Bay and Aenggang Bay on the southern coast, and off Seungbong Island on the western coast of Korea.

에서 3.7 m 범위였으며, 승봉도는 -0.1 m에서 6.7 m의 큰 조차의 범위를 나타낸다(www.NORI.go.kr). 동대만에서 거머리말(*Zostera marina*)은 조간대 하부에서부터 조하대의 수심 약 5.0 m까지 넓게 분포하였으며, 앵강만에서는 조간대 하부에서부터 수심 약 2.0 m까지 작은 규모의 초지로 분포하였다. 승봉도에서는 애기거머리말(*Z. japonica*)이 조간대의 중부에서부터 하부까지 분포하였고, 거머리말이 조간대 하부에서부터 수심 1.0 m 내외의 조하대까지 작은 규모의 패치로 분포하였다.

시료 채집과 분석

식물플랑크톤의 정량 분석은 1 l 폴리에틸렌 채수병을 이용하여 해초지 표층에서 직접 채수하였으며, 시료 전체의 포르말린농도가 약 5% 되게 현장에서 고정시켰다. 고정된 시료는 침전법에 의해 상등액을 제거하여 50~100 ml로 농축한 후 Sedgwick-Rafter counting chamber를 이용하여 계수한 후 1/당 세포 수로 환산하였다. 정성분석은 직경 30 cm, 망목 25 μ m인 net를 이용하여 수평끌기를 한 후 최종 농도가 5% 되게 포르말린으로 고정하여 관찰하였다. 식물플랑크톤의 동정은 광학현미경(Nikon) 100~600배 하에서 검경하였으며, 분류 체계는 Isamu(1982)와 심(1994)을 참고로 하였다.

환경요인 중 수온은 2002년 9월부터 2003년 8월까지 현장에서 측정하였으며, 해수의 용존 무기질소(DIN; NH_4^+ , $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$)와 용존 무기인(PO_4^{3-})은 Parsons *et al.*(1984)에 기술된 흡광광도법을 이용하였다. Chlorophyll *a*(Chl. *a*)는 해수의 탁도에 따라 300~1000 m를 유리섬유여과지(GF/F filter, Whatman[®])로 여과 후, 냉암소에서 90% acetone으로 24시간 이내로 추출하여 Turner Designs[®] 10-AU fluorometer를 사용하여 측정하였다. 부유물질은 해수의 탁도에 따라 300~1000 m를 450°C에서 4시간 태운 유리섬유여과지로 여과한 후 건조하여 무게차를 측정하였다. 해초의 지상부 생물량은 방형구(거머리말; 35×35 cm)와 PVC corer(애기거머리말; 직경 10 cm)를 이용하여 채집 후 건조기에서 60°C로 일정한 무게가 될 때까지 건조하여 건조량(g dry wt m⁻²)을 측정하였다.

식물플랑크톤 군집의 정량적인 값을 이용하여 조사시기와 지역간의 표현적 유연관계를 파악하고, 그룹을 결정하는 성분들을 모색하기 위하여 주성분분석(Principal Component Analysis, PCA)을 수행하였다. 식물플랑크톤의 현존량과 환경요인들과 관계는 Pearson 상관계수를 분석하여 이를 바탕으로 식물플랑크톤 군집의 변동에 영향을 미치는 환경요인들을 회귀분석(regression analysis)하여 규명하였다. 조사기간 동안 환경요인들의 시간적인

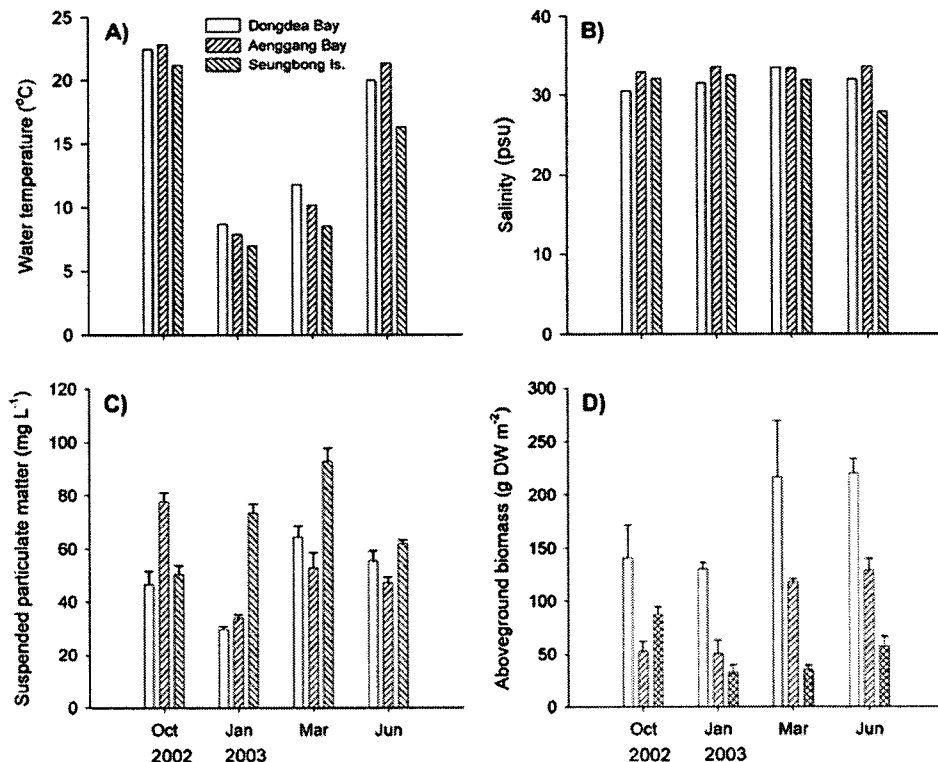


Fig. 2. Seasonal variations of water temperature (A), salinity (B), suspended particulate matter (C) and seagrass aboveground biomass (D) in three Korean seagrass beds.

변이는 one-way ANOVA를 수행하였으며, 유의한 차이가 있는 환경 요인들은 Tukey의 사후 분석(Post-Hoc analysis)을 실시하여 차이를 검정하였다. 각 조사에 이용된 요인들의 통계 유의성은 $p < 0.05$ 수준으로 하였다.

3. 결 과

환경 요인

조사기간 동안 각 조사지역의 수온은 명확한 계절 변화를 보였으며, 승봉도의 수온은 동대만과 앵강만 보다 유의하게 낮았다($p < 0.05$). 수온은 전 정점에서 1월이 가장 낮았으며, 10월이 가장 높게 나타났다(Fig. 2A). 동대만의 염분은 10월에 30.5 psu로 가장 낮았으며, 3월에 33.4 psu로 가장 높게 나타났으며, 앵강만에서는 32.9(10월)~33.6 psu(6월)의 범위로 나타났다. 그러나 승봉도에서 염분은 6월에 27.9 psu로 가장 낮았으며, 10월에 32.1 psu로 가장 높았다(Fig. 2B). 동대만과 앵강만에서 부유물질은 1월이 가장 낮았으나, 3월(64.4 mg l⁻¹)과 10월(77.7 mg l⁻¹)에 각각 최대로 나타났다. 서해안의 승봉도에서는 50.5(10월)~92.9 mg l⁻¹(3월) 범위로 나타났으며, 각 정점에서 계절에 따른 차이가 명확히 나타났다(Fig. 5C). 해초의 지상부

생물량은 각 정점에서 계절에 따른 차이가 명확히 나타났으며, 동대만과 앵강만의 거머리말 지상부 생물량은 승봉도의 애기거머리말 생물량보다 유의하게 높았다($p < 0.05$). 동대만과 앵강만에서 거머리말의 지상부 생물량은 1월에 가장 낮았으며, 6월에 가장 높게 나타났다. 반면에 승봉도에서 애기거머리말의 지상부 생물량은 1월(33.2 g DW m⁻²)에 가장 낮았으며, 10월(87.2 g DW m⁻²)에 가장 높았다(Fig. 2D).

조사기간 동안 해수의 Chl. a 농도는 계절에 따른 변화가 유의하게 나타났으며($p < 0.05$). 동대만에서 Chl. a 농도는 1월(0.47 $\mu\text{g l}^{-1}$)에 가장 낮게 나타났으나, 앵강만에서는 1월(3.07 $\mu\text{g l}^{-1}$)에 가장 높게 나타났으며(Fig. 3A). 승봉도에서 Chl. a 농도는 0.90~1.90 $\mu\text{g l}^{-1}$ 범위로 3월이 가장 높았다(Fig. 3A). 동대만과 앵강만에서 해수의 DIN과 PO₄³⁻의 농도는 조사시기에 따라 유의한 차이를 보였으며($p < 0.05$), 10월에 가장 높게 나타났다(Fig. 3B, C, D). 승봉도에서 DIN의 농도는 조사시기에 따라 유의한 차이를 보였으나($p < 0.05$), PO₄³⁻의 농도는 명확한 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$). 조사지역에 따른 암모니아($p = 0.146$), 질산염 및 아질산염($p = 0.175$)과 인산염($p = 0.526$)의 농도는 차이를 보이지 않았다.

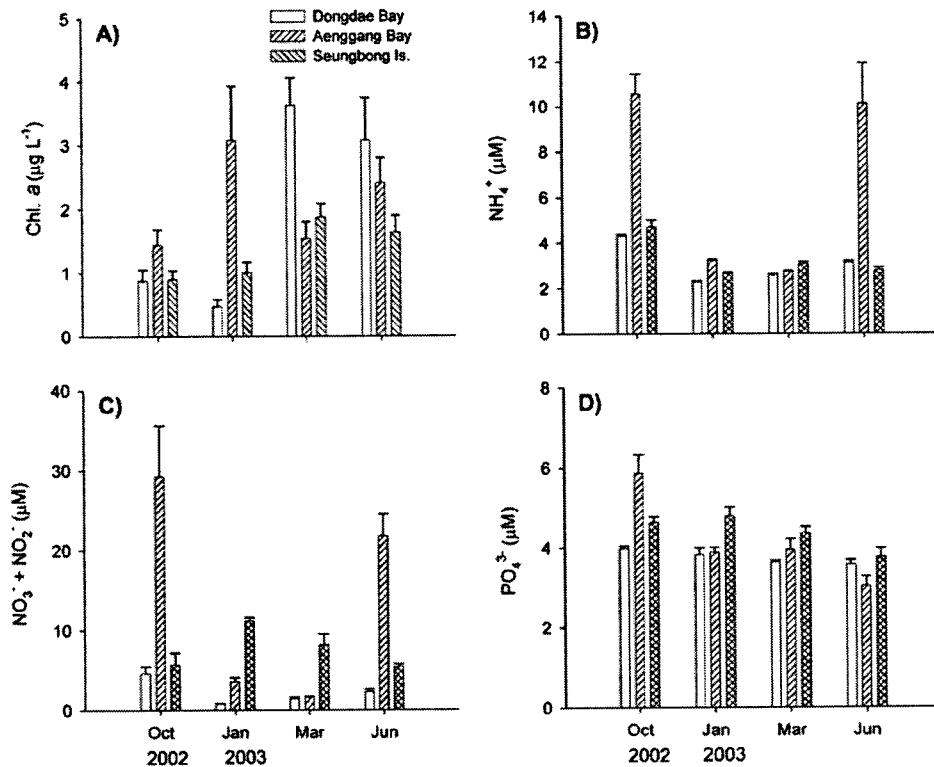


Fig. 3. Seasonal variations of chlorophyll a (A), ammonia (B), nitrite+nitrate (C) and phosphate (D) of water column in three Korean seagrass beds.

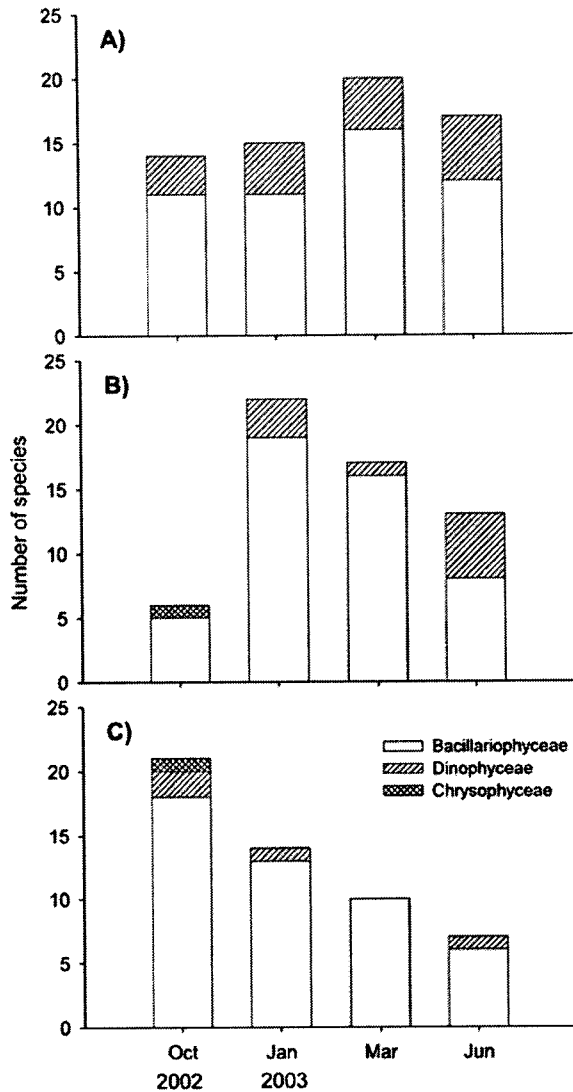


Fig. 4. Seasonal changes of phytoplankton species composition in three Korean seagrass beds. (A) Dongdae Bay, (B) Aenggang Bay, (C) Seungbong Island.

식물플랑크톤 종조성

조사기간 동안 식물플랑크톤은 총 3문 3강 4목 16과 27속 65종이 출현하였다. 이중 규조류가 22속 50종으로 가장 많았고, 다음으로 와편모조류가 4속 14종, 규질편모조류가 1속 1종 출현하였다. 동대만에서 출현한 식물플랑크톤은 총 40종이었으며, 규조류가 30종으로 전체의 75.0%, 와편모조류가 10종으로 25.0%의 점유율로 나타났다. 동대만에서 식물플랑크톤의 계절변화는 3월에 20종으로 가장 다양한 출현 종 특성을 보였으나, 10월에는 출현 종이 14종으로 가장 빈약하게 나타났다(Fig. 4A). 와편모조류는 3월과 6월에 비교적 다양하게 출현하였으나, 10월

에는 출현 종수가 낮게 나타났다.

앵강만에서 식물플랑크톤은 총 40종이 출현하였으며, 규조류가 31종(77.5%)으로 우점하였고, 와편모조류와 규질편모조류가 각각 8종(20.0%)과 1종 출현하였다. 앵강만 식물플랑크톤 출현 종의 계절변화는 1월에 22종으로 가장 다양한 출현 종 특성을 보였으나, 10월에는 6종으로 가장 빈약하게 나타났다(Fig. 4B). 와편모조류는 6월에 다양하게 출현하였으나, 3월에는 낮게 나타났다. 10월에는 와편모조류의 출현이 없었으나, 규질편모조류의 종수가 낮게 출현하였다.

승봉도에서 식물플랑크톤은 총 32종이 출현하였으며, 분류군별로는 규조류가 27종으로 84.4%의 가장 높은 점유율을 보였으며, 다음으로는 와편모조류와 규질편모조류가 각각 4종과 1종으로 12.5%와 3.1%의 점유율을 나타내었다. 계절에 따른 식물플랑크톤의 출현 종 변화는 10월에 21종으로 가장 다양한 출현종 특성을 보였으나, 6월에 출현종이 7종으로 가장 빈약한 것으로 나타났다(Fig. 4C). 특히, 와편모조류와 규질편모조류는 3월에 출현하지 않았으며, 다른 조사시기에도 낮은 빈도를 보였다. 각 정점에서 식물플랑크톤 군집의 출현 종수는 서해의 승봉도보다 남해의 동대만과 앵강만에서 유의하게 높게 나타났다($p < 0.05$).

식물플랑크톤 군집의 계절변화

조사기간 동안 각 정점 모두에서 관찰되는 식물플랑크톤 종은 없었으나, 규조류인 *Coscinodiscus marginatus*가 9회에 걸쳐 관찰되어 대표적인 해초지 출현 종으로 파악되었다. 동대만에서는 규조류인 *Pleurosigma rectum*이 모든 시기에 관찰되었으며, 규조류인 *Melosira nummuloides*, *Co. marginatus*, *Eucampia zodiacus*, *Thalassionema frauenfeldii*, *Pleurosigma elongatum*, *Nitzschia seriata*, 와편모조류인 *Peridinium subinermis*와 *Ceratium fusus*는 3회에 걸쳐 관찰되었다. 앵강만에서 4회의 조사시점 모두에서 관찰되는 식물플랑크톤 종은 없었으며, 3회에 걸쳐 확인된 종은 규조류인 *Leptocylindrus danicus*, *Co. marginatus*와 *E. zodiacus* 3종으로 앵강만 식물플랑크톤 군집을 대표하는 종들로 나타났다. 승봉도의 경우 규조류인 *Co. asteromphalus*와 *Pl. normanni*가 모든 조사시기에 관찰되었으며, 3회에 걸쳐 관찰이 확인된 종은 규조류인 *M. nummuloides*, *Lauderia annulata*, *Thalassiosira excentrica*와 *Co. marginatus* 등 4종이었다. 남해안의 동대만과 앵강만 해초지에서는 모든 조사시기에 출현한 식물플랑크톤 종은 없었으나, 각 지역에서 3회에 걸쳐 관찰이 확인된 종은 규조류인 *Co. marginatus*와 *E. zodiacus* 등 2종으로서 남해안 해초지의 식물플랑크톤 군집을 대표하는 종들로 나타났다.

Table 1. Seasonal succession of dominant species in the seagrass habitats.

Month	Site	Dominant species	Percentage (%)
October, 2002	Dongdae Bay	<i>Thalassiosira excentrica</i>	42.9
	Aenggang Bay	<i>Coscinodiscus gigas</i>	68.2
	Seungbong Island	<i>Thalassiosira anguste-lineata</i> <i>Coscinodiscus marginatus</i>	33.3 33.3
January, 2003	Dongdae Bay	<i>Peridinium granii</i>	46.3
		<i>Eucampia zodiacus</i>	41.5
	Aenggang Bay	<i>Eucampia zodiacus</i>	90.0
	Seungbong Island	<i>Thalassiosira anguste-lineata</i> <i>Coscinodiscus marginatus</i>	42.9 37.1
March, 2003	Dongdae Bay	<i>Pleurosigma elongatum</i>	56.2
	Aenggang Bay	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	23.1
		<i>Pleurosigma pelagicum</i>	20.5
Seungbong Island	<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	33.3	
June, 2003	Dongdae Bay	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	46.1
	Aenggang Bay	<i>Coscinodiscus marginatus</i> <i>Ceratium fusus</i>	41.7 33.3
	Seungbong Island	<i>Thalassiosira excentrica</i>	80.0

우점종의 계절 변화

식물플랑크톤의 계절에 따른 우점종의 천이는 조사시기와 지역에 따라 다양한 차이를 보였으며, 2002년 10월과 2003년 6월에는 중심목 규조류인 *Coscinodiscus* 속과 *Thalassiosira* 속이 조사지역에서 우점 출현하였다(Table 1). 2003년 1월의 경우 남해안의 동대만과 앵강만에서는 *Eucampia zodiacus*가 우점 출현하였으나, 서해안의 승봉도에서는 *Coscinodiscus marginatus*와 *Thalassiosira anguste-lineata*가 우점하였다. 2003년 3월의 경우 남해안의 동대만과 앵강만에서는 *Pleurosigma elongatum*가 우점하였으나, 승봉도에서는 *Co. asteromphalus*가 우점 출현하였다. 동대만과 앵강만에서 식물플랑크톤의 계절에 따른 우점종 천이가 명확하게 나타났으나, 승봉도의 경우 *Coscinodiscus* 속과 *Thalassiosira* 속이 우점 출현하는 것으로 나타났다(Table 1).

식물플랑크톤 현존량의 계절변화

조사기간 동안 식물플랑크톤의 현존량은 $0.6 \times 10^3 \sim 21.1 \times 10^3$ cells l^{-1} 의 범위로 시·공간적으로 큰 차이를 보였다. 조사 지역별로는 식물플랑크톤의 현존량은 동대만이 7.1×10^3 cells l^{-1} 로 가장 적었으며, 앵강만이 11.5×10^3 cells l^{-1} 로 가장 많았다(Fig. 5). 동대만의 경우 계절에 따른 식물플랑크톤의 현존량은 6월에 0.6×10^3 cells l^{-1} 로 가장 적었으며, 1월에 17.5×10^3 cells l^{-1} 로 가장 많았다. 분류군별로는 규조류가 $0.6 \times 10^3 \sim 9.4 \times 10^3$ cells l^{-1} 범위로 가장 많았으며, 1월에는 와편모조류가 다른 시기 보다 다소 많이 나타났다(Fig. 5A). 앵강만의 경우 식물플랑크

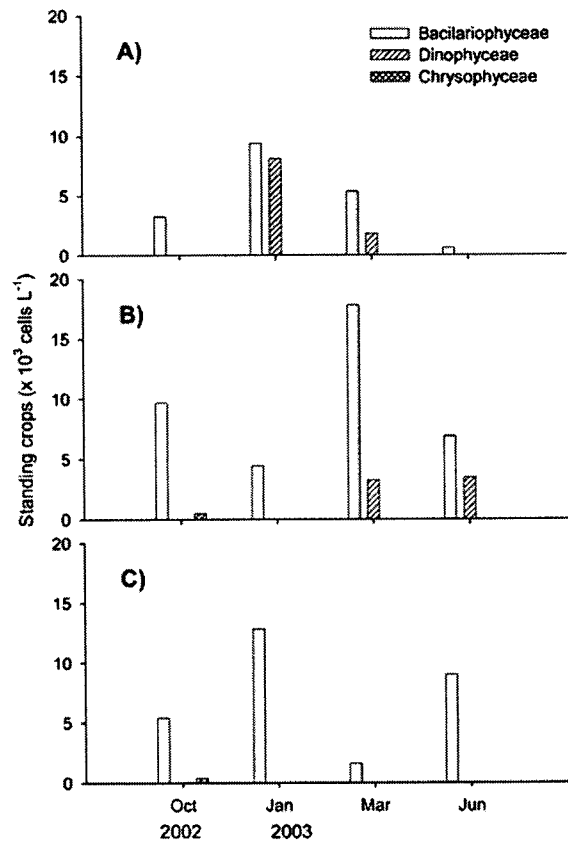


Fig. 5. Seasonal changes of phytoplankton standing crops (cells l^{-1}) in three Korean seagrass beds. (A) Dongdae Bay, (B) Aenggang Bay, (C) Seungbong Island.

톤의 현존량은 3월에 21.1×10^3 cells l^{-1} 로 가장 많았으며, 1월에 4.5×10^3 cells l^{-1} 로 가장 적었다. 분류군별로는 규조류가 가장 많았으며, 6월에는 와편모조류가 다른 시기보다 많이 출현하였다(Fig. 5B). 승봉도의 경우 계절에 따른 식물플랑크톤의 현존량은 1월에 12.8×10^3 cells l^{-1} 로 가장 많았으며, 3월에 1.6×10^3 cells l^{-1} 로 가장 적었다. 분류군별로는 조사시기 동안 규조류가 가장 많았으며, 10월에는 규질편모조류의 출현이 있었다(Fig. 5C).

통계 분석

조사시기 동안 우점 출현한 식물플랑크톤 30종의 정량적인 자료를 이용하여 주성분(PCA) 분석을 수행하여 조사 지역간의 그룹을 결정하는 요인을 추출하였다. 주성분 분석을 통해 8개의 주성분을 얻었으며, 고유값(eigen values)은 6.303에서 1.562의 분포를 나타냈다. 주요 4개의 주성분은 총 분산에 대한 누적 공통 분산의 비율이 62.3%이었고, 제1주성분과 제2주성분은 전체 분산의 21.0%와 15.0%를 차지하여 전체의 36.0%를 설명하였다(Table 2). 주성분분석 결과 앵강만은 다른 그룹과 명확히 구분되지 않았으며, 승봉도와 동대만 그룹은 제2주성분에 의해 구분되었다(Fig. 6). 제1주성분은 *Pleurosigma pelagicum*, *Nitzschia seriata*, *Thalassionema nitzschioides*가 양의 주요한 벡터 요인이었으며, *Co. marginatus*가 음의 주요한 벡터 요인으로 나타났다. 제2주성분은 *Peridinium granii*, *Rhizosolenia delicatula*, *Rh. setigera*, *Stephanophyxis palmeriana*가 중요한 음의 벡터 요인이었으며, *Melosira nummuloides*, *Biddulphia rhombus*와 *Thalassiosira anguste-lineata*가 주요한 양의 벡터 요인으로 나타났다(Table 2).

해초지에서 계절에 따른 식물플랑크톤의 현존량은 수온, 입자성부유물질과 해초 지상부 생물량과 유의한 관계

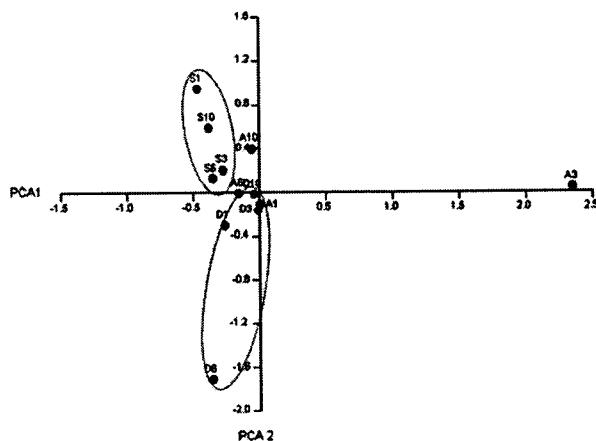


Fig. 6. Plot of phytoplankton community on first vs. second principal components from analysis of the quantitative characters.

를 보이지 않았다($p > 0.05$). 반면에 염분은 동대만에서 식물플랑크톤의 출현종 수($r^2 = 0.933$, $p = 0.034$)와 앵강만에서는 규조류의 현존량($r^2 = 0.584$, $p = 0.004$)과 유의한 관계로 나타났다. 또한, 다중회귀분석(multiple stepwise regression analysis) 결과 해초지에서 계절에 따른 인산염 농도의 감소는 규조류의 현존량 증가에 58.4%($p = 0.004$) 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 인산염과 암모니아의 감소는 규조류 현존량 증가에 78.7%($p = 0.001$) 기여하는 것으로 나타났다. 이러한 결과에서 해초지에 출현하는 식물플랑크톤의 종수와 현존량은 조사 해역에 따라 염분에 영향을 받는 것으로 나타났으며, 계절에 따른 영양염 농도의 변화

Table 2. Loadings of the first three principal components for 30 phytoplankton species.

Species	PCA 1	PCA 2	PCA 3
<i>Biddulphia rhombus</i>	-0.104	0.263	0.219
<i>Ceratium fusus</i>	-0.026	-0.002	0.194
<i>Cocconeis pseudomarginata</i>	0.372	-0.001	0.007
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	-0.081	0.146	0.072
<i>Coscinodiscus gigas</i>	-0.009	0.092	-0.065
<i>Coscinodiscus marginatus</i>	-0.121	0.094	0.375
<i>Dictyocha fibula</i>	-0.050	0.166	0.007
<i>Eucampia zodiacus</i>	-0.040	-0.067	-0.343
<i>Lauderia annulata</i>	-0.058	0.030	-0.095
<i>Leptocylindrus danicus</i>	-0.043	-0.070	-0.314
<i>Licmophora abbreviata</i>	0.363	0.009	0.119
<i>Melosira nummuloides</i>	-0.112	0.269	0.220
<i>Nitzschia longissima</i>	-0.026	-0.002	0.194
<i>Nitzschia seriata</i>	0.389	0.010	0.047
<i>Peridinium oceanicum</i> var. <i>oblongum</i>	-0.059	-0.395	0.199
<i>Peridinium granii</i>	-0.043	-0.073	-0.321
<i>Pleurosigma affine</i>	-0.026	-0.002	0.194
<i>Pleurosigma elongatum</i>	-0.011	-0.053	-0.185
<i>Pleurosigma normanni</i>	-0.109	0.161	0.026
<i>Pleurosigma pelagicum</i>	0.389	0.010	0.047
<i>Pleurosigma rectum</i>	0.223	0.074	-0.044
<i>Pyrocystis lumula</i>	0.371	-0.005	-0.003
<i>Rhizosolenia alta</i> f. <i>curvirostris</i>	-0.002	-0.038	-0.119
<i>Rhizosolenia delicatula</i>	-0.059	-0.395	0.199
<i>Rhizosolenia setigera</i>	-0.059	-0.395	0.199
<i>Stephanophyxis palmeriana</i>	-0.059	-0.395	0.199
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	-0.058	0.219	0.084
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	0.382	-0.047	0.076
<i>Thalassiosira anguste lineata</i>	0.050	0.258	0.246
<i>Thalassiosira excentrica</i>	-0.059	0.029	-0.103
Eigen values	6.30	4.51	4.07
Cumulative % of eigen value	21.0	36.0	49.6

는 규조류의 현존량에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4. 고찰

우리나라 남해안에서 해초들에 부착하여 생육하는 미세조류 중 부착규조류의 종수는 32속 109종이 보고되었으며, 부착규조류의 군집구조는 부착기질이 되는 해초 종들의 엽신 형태, 조사 장소와 시기에 따라 차이가 나타나는 것으로 알려져 있다(정 2002). 남해안의 해초들에 부착하는 규조류는 대부분 우상목 규조류(106종)였으며, 중심목 규조류는 3종만이 동정되었다(정 2002). 특히, 남해안에 생육하는 거머리말(*Zostera marina*)의 엽신에 부착하는 규조류의 출현 종수는 생육지에 따라 37종에서부터 83종까지 다양하게 나타났으며, 이러한 차이는 식물체의 형태적인 특징보다 고유한 생육환경에 영향을 받는 것으로 보

고되었다(정 2002). 남해연안에 생육하는 거머리말의 부착규조류는 *Tabularia faciculata*, *Gomphonemophesis exigua*, *Berkeleya rutilans*, *Nitzschia sigmoidea*, *Cocconeis placentula*, *Cocconeis scutellum*과 *Navicula radiosa*가 주요 우점종으로 보고되었다(정 2002).

본 조사시간 동안 해초지에서 출현한 식물플랑크톤은 27속 65종이 동정되었다. 남해 연안의 동대만과 앵강만에서는 각각 21속 40종과 22속 40종이 출현하였으며, 서해연안의 승봉도에서는 19속 32종이 출현하였다. 승봉도에서 우점한 식물플랑크톤은 *Coscinodiscus* 속과 *Thalassiosira* 속이었으나, 동대만과 앵강만에서는 계절에 따른 우점종의 천이가 명확히 나타났다. 동대만과 앵강만에서 2002년 10월에는 중심목 규조류인 *Thalassiosira excentrica*와 *Coscinodiscus gigas*, 2003년 1월에는 *Eucampia zodiacus*가 우점 출현하였으나, 2003년 3월에는 *Pleurosigma*

Table 3. Comparison of phytoplankton species composition on the Korean coasts.

Sites	Species composition	References	
남해 연안	총 72종 (규조류 61종, 외편모조류 7종)	박과 이(1990)	
통영	총 130종 (규조류 106종, 외편모조류 22종, 규질편모조류 2종)	이 등(2005a)	
득량만	총 60종 (규조류 38종, 외편모조류 17종, 규질편모조류 3종, 유글레나류 1종, 녹조류 1종)	윤과 김(2003)	
남해	여자만	총 87종 (규조류 70종, 외편모조류 15종, 규질편모조류 2종)	이와 윤(2000)
	광양만	총 94종 (규조류 69종, 외편모조류 22종, 은편모조류 1종, 규질편모조류 1종, 유글레나류 1종)	김 등(2003)
	해창만	총 77종 (규조류 41종, 외편모조류 22종, 규질편모조류 3종, 유글레나류 1종, 녹조류 10종)	윤(2000)
동대만	총 40종 (규조류 30종, 외편모조류 10종)	Present study	
앵강만	총 40종 (규조류 31종, 외편모조류 8종, 규질편모조류 1종)	Present study	
격포	총 90종 (규조류 74종, 외편모조류 13종, 규질편모조류 2종, 유글레나류 1종)		
개야도	총 87종 (규조류 67종, 외편모조류 16종, 규질편모조류 1종, 유글레나류 2종, 녹조류 1종)	김 등(1991)	
서해	목포	총 38종 (규조류 33종, 외편모조류 3종, 유글레나류 2종)	
	경기만	총 228종 (규조류 181종, 외편모조류 42종, 규질편모조류 5종, 녹조와 남조류 11종)	최와 심(1986)
	시아해	총 36종 (규조류 27종, 외편모조류 8종, 규질편모조류 1종)	윤(1998)
승봉도	총 32종 (규조류 27종, 외편모조류 4종, 규질편모조류 1종)	Present study	
동해	총 200종 (규조류 149종, 외편모조류 31종, 규질편모조류 4종, 유글레나류 1종, 녹조류 9종, 남조류 4종)	조 등(2000)	

*elongatum*과 *Thalassionema nitzschioides*가 우점 출현하였다. 2003년 6월에는 *Coscinodiscus marginatus*가 우점하는 천이 양상을 보였다(Table 1). 해초지에 출현하는 규조류는 우상목 규조류(29.4%)보다 중심목 규조류(70.6%)가 높은 점유율을 보였으나, 해초에 부착 생육하는 부착규조류는 우상목 규조류가 90% 이상 출현하는 것으로 나타났다(정 2002). 특히, 정(2002)에 의해 분류 동정된 해초의 부착규조 군집 중에서 앵강만에서는 *Cocconeis pseudomarginata*만이 출현하였으며, 동대만에서는 *Cocconeis scutellum*만이 출현하였다. 또한, 앵강만에서는 부착규조류인 *Cocconeis pseudomarginata*는 3월의 식물플랑크톤 현존량에는 약 5.0%만 차지하였으나, 해초지 식물플랑크톤의 현존량에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다.

해초지에서 우점 출현한 식물플랑크톤 30종의 정량 자료를 이용한 주성분 분석(PCA) 결과 제1주성분은 앵강만 3월의 식물플랑크톤 군집과 다른 군집들로 대별되었다. 앵강만의 경우 3월에만 *Thalassionema nitzschioides*가 우점 출현하여 다른 계절과 구분된 것으로 판단되었다. 제2주성분은 승봉도와 동대만의 식물플랑크톤 군집을 대별하였다. 제2주성분의 양의 벡터는 승봉도의 식물플랑크톤

군집들의 그룹이 형성되었으며, 동대만 식물플랑크톤 군집들은 음의 벡터에서 그룹이 형성되었다. 제 2주성분에서 동대만은 1월에 우점한 *Peridinium granii*가 다른 조사 지역에서 출현하지 않아 주요한 요인으로 판단되었다. 승봉도의 경우 *Melosira mummuloides*, *Biddulphia rhombus*가 승봉도에서만 출현하였으며, 10월에 우점 출현한 *Thalassiosira anguste lineata*가 주요한 요인으로 판단되었다.

남해연안의 동대만과 앵강만, 서해안의 승봉도 해초지에서 출현한 식물플랑크톤 종수는 다른 남해연안(박과 이 1990; 이와 윤 2000; 윤과 김 2003; 김 등 2003; 이 등 2005a)과 서해연안(김 등 1991; 최와 심 1986)보다 종 다양성이 낮게 나타났으며(Table 3), 현존량도 남해와 서해의 다른 해역보다 최대 100배 이상 낮게 나타났다(Table 4). 해초가 없는 남해 연안에서 우점하는 식물플랑크톤은 *Skeletonema coastatum*, *Eucampia zodiacus*와 *Chaetoceros* 속 등이었으며, 서해안에서는 *Paralia sulcata*, *Sk. coastatum*과 *E. zodiacus*가 우점 출현하였다(Table 4). 남해와 서해연안에서 식물플랑크톤의 우점 분류군은 조사 시기와 장소에 따라 차이를 보였으나(Table 4), 부유성 기작이 발달한 *Skeletonema* 속과 *Chaetoceros* 속이 가장 우

Table 4. Comparison of phytoplankton standing crops and dominant species on the Korean coasts.

Sites	Standing crops (cells/l)	Dominant species
남해 연안	488(2월)~4,583(4월)	<i>Eucampia zodiacus</i> (2월), <i>Skeletonema coastatum</i> (4월), <i>Chaetoceros affinis</i> (8월)
통영	69(8월)~1,000×10 ³ (10월)	<i>Leptocylindrus danicus</i> (4월, 6월), <i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (8월), <i>Ch. socialis</i> , <i>Ch. curvisetus</i> (10월)
독량만	6.0(1월)~686.6×10 ³ (10월)	<i>Sk. coastatum</i> (1월), <i>Eu. zodiacus</i> (7월), <i>Nitzschia longissima</i> (10월)
여자만	4.8(8월)~2,800×10 ³ (7월)	<i>Thalassiosira weissflogii</i> , <i>Ch. curvisetus</i> , <i>Ch. decipiens</i> , <i>Cylindrotheca closterium</i> , <i>Nitzschia</i> sp.
광양만	216.4~1,758×10 ³ (8월)	<i>Cochlodinium polykrikoides</i> , <i>Ch. curvisetus</i> (8월)
해창만	1.0(4월)~462.2×10 ³ (10월)	<i>Ch. curvisetus</i> (2월, 7월, 10월), <i>Sk. costatum</i> (4월)
동대만	0.6(6월)~17.5×10 ³ (1월)	<i>Peridinium granii</i> (1월), <i>Pleurosigma elongatum</i> (3월), <i>Co. marginatus</i> (6월), <i>Thalassiosira excentrica</i> (10월)
앵강만	4.5(1월)~21.1×10 ³ (3월)	<i>Eu. zodiacus</i> (1월), <i>Th. nitzschioides</i> (3월), <i>Co. marginatus</i> (6월), <i>Co. gigas</i> (10월)
격포	17(4월)~7,389×10 ³ (3월)	<i>Sk. costatum</i> (3월), <i>Eu. zodiacus</i> (4월), <i>Eutreptiella marina</i> (6월), <i>Le. minimus</i> (8월), <i>Paralia sulcata</i> (11월)
개야도	35(8월)~3,433×10 ³ (3월)	<i>Sk. costatum</i> (2월), <i>Eu. zodiacus</i> (3월), <i>Nitzschia seriata</i> (4월), <i>Rh. stolterfothii</i> (6월), <i>Gonyaulax</i> sp. (8월), <i>Paralia sulcata</i> (11월)
서해 목포	37.5(2월)~1,453×10 ³ (3월)	<i>Thalassiosira</i> sp. (3월), <i>Asterionella kariana</i> (4월)
경기만	16~1,753×10 ³	<i>Pa. sulata</i> , <i>Sk. Costatum</i>
시아해	9.6(10월)~630×10 ³ (4월)	<i>Le. danicus</i> (2월, 4월), <i>Sk. costatum</i> (4월), <i>Pa. sulata</i> (7월, 10월), <i>Bacillaria paxillifer</i> (10월)
승봉도	1.6(3월)~12.8×10 ³ (1월)	<i>Thalassiosira anguste lineata</i> (1월, 10월), <i>Co. marginatus</i> (1월), <i>Co. asteromphalus</i> (3월), <i>Thalassiosira excentrica</i> (6월)
동해 영일만	70(2월)~1,218×10 ³ (5월)	<i>Licmophora abbreviate</i> , <i>Th. nitzschioides</i> , <i>Ceratium furca</i>

점 출현하는 종으로 나타났다(이 등 2005a). 반면에 해초지에 출현한 식물플랑크톤 군집에서는 *Skeletonema* 속과 *Chaetoceros* 속의 출현빈도가 낮게 나타났으며, 이들 속들의 낮은 출현빈도는 해초지의 종 다양성과 현존량에 영향을 주는 것으로 판단되었다.

식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포는 수온, 염분, 광과 영양염류의 변동에 직접적인 영향을 받는 것으로 알려져 있다(Shim and Lee 1987; Taylor et al. 1995; 이 등 2005a). 해초지에 출현하는 식물플랑크톤 군집들은 이·화학적인 요인뿐만 아니라 부착기질의 형태, 생활사와 생육 밀도에 영향을 받는 것으로 나타났다(Jacob et al. 1983). 해초지에서 계절에 따른 수온의 변화는 식물플랑크톤의 현존량과 종 다양성과 유의한 관계를 보이지 않았으나($p > 0.05$), 염분은 식물플랑크톤의 출현 종수(동대만)와 현존량(앵강만)과 유의한 관계를 보였다($p < 0.05$). 해초지에서 용존 무기질소와 인산염의 농도는 서해의 경기만(평균 0.259 mg/l와 0.015 mg/l), 남해의 통영연안(평균 0.049 mg/l와 0.004 mg/l), 여자만(평균 0.030 mg/l와 0.008 mg/l), 득량만(평균 0.030 mg/l와 0.009 mg/l)과 광양만(평균 0.143 mg/l와 0.013 mg/l)과 유의한 차이($p > 0.05$)를 보이지 않았다(국립수산과학원 2005). 해초지에서 규조류의 현존량은 영양염 농도에 따라 유의한 차이를 보였으나, 지하부의 뿌리에서도 공극수의 영양염을 이용하는 해초의 경우 수괴의 영양염 농도와 지상부 생물량은 유의한 관계를 보이지 않았다. 이와 같은 결과에서 볼 때 해초지 수괴의 영양염 농도는 다른 해역보다 해초 엽상부의 흡수에 의해 식물플랑크톤 증식이 제한될 것으로 판단되었다.

결론적으로 해초지에 출현하는 식물플랑크톤 군집은 조사 시기와 장소에 따라 종 다양성과 현존량이 차이를 보였으나, *Coscinodiscus* 속과 *Thalassiosira* 속이 지속적으로 우점 출현하는 것으로 나타났다. 정(2002)에 의한 해초에 부착하는 부착규조류 군집은 해초지에서 식물플랑크톤의 종 조성 및 우점 분류군과 명확한 차이를 보였으며, 해초지의 식물플랑크톤 군집의 계절변화에도 영향을 주지 않는 것으로 판단되었다. 해초지의 식물플랑크톤 군집은 해초가 출현하지 않는 다른 해역보다 종 다양성과 현존량이 낮게 나타났다. 이와 같은 결과는 해조류 생육지의 해수에서도 식물플랑크톤의 종조성과 현존량이 낮게 나타나는 경향과 유사하였다(김 등 1991). 해초지에서 식물플랑크톤의 군집구조는 수온보다 염분에 따른 차이를 보였으며, 계절에 따른 수괴내의 영양염 농도는 규조류의 현존량에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

5. 요약

해초지에서 식물플랑크톤 군집의 계절 변동을 규명하기

위하여 2002년 10월, 2003년 1월, 3월과 6월에 남해안의 동대만과 앵강만, 그리고 서해안의 승봉도에서 식물플랑크톤의 현존량과 분포, 그리고 환경요인들을 조사하였다. 수온, 염분, 부유물질, chlorophyll *a*, 해초의 지상부 생물량, 용존무기질소와 용존무기인 농도는 조사시기에 따라 유의한 차이를 보였다. 해초지에서 출현하는 식물플랑크톤은 총 3문 3과 4목 16과 27속 65종이 동정되었다. 해초지에서는 규조류가 50종, 와편모조류가 14종, 그리고 규질편모조류가 1종 출현하였다. 식물플랑크톤은 *Coscinodiscus* 속과 *Thalassiosira* 속의 분류군들이 조사기간 동안 우점 출현하였으나, *Peridinium granii*, *Eucampia zodiacus*와 *Pleurosigma elongatum*은 계절에 따라 우점하였다. 식물플랑크톤의 현존량은 $0.6 \times 10^3 \sim 21.1 \times 10^3$ cells l^{-1} 의 범위로 동대만에서 6월에 가장 낮았으며, 앵강만에서 3월에 가장 높았다. 식물플랑크톤 군집의 종조성과 현존량은 다른 남·서해 연안보다 단순하고 낮게 나타났다. 계절에 따른 용존 무기질소와 무기인의 농도는 규조류 현존량에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

사 사

이 논문의 향상을 위해 여러 차례 조언해 주시고 세심하게 심사하여 주신 노재훈 박사님과 심사위원들께 감사드립니다.

참고문헌

- 국립수산과학원. 2005. 한국해양환경 조사연보 2004. 해양수산부, SP-05-ME-20.
- 김소영, 문창호, 조현진. 2003. 한국남해 연안 광양만 표층 퇴적물의 와편모조류 시스트 분포 특성과 식물플랑크톤 군집과의 비교. *해양학회지* 「바다」, 8, 111-120.
- 김중래, 신윤근, 이건형, 이원호. 1991. 서해산 김 엽체상의 미소생물과 김의 병해와의 관계에 대한 연구: I. 부착규조류와 주변 해수의 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량. *수산학회지*, 24, 79-88.
- 문창호, 최혜지. 1991. 낙동강 하구환경 특성 및 식물플랑크톤의 군집구조에 관한 연구. *한국해양학회지*, 26, 144-154.
- 박주석, 이삼근. 1990. 한국남해의 식물플랑크톤의 분포와 수괴특성. *수산학회지*, 23, 208-214.
- 심재형. 1994. 한국동식물도감 제34권 식물편(해양식물플랑크톤). 문교부. 487 p.
- 윤양호. 1998. 시아해 식물플랑크톤 군집의 계절 변동 특성. *환경생물학회지*, 16, 403-409.
- 윤양호. 2000. 해창만의 생물해양학적 환경특성. 1. 식물플랑크톤 군집의 계절변동 및 분포 특성. *수산학회지*, 33,

- 43-50.
- 윤양호, 김동근. 2003. 득량만 남서해역 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포 특성. *환경생물학회지*, 21, 8-17.
- 이상현, 신용식, 양성렬, 박철. 2005b. 아산만 식물플랑크톤의 계절별 군집 분포 특성. *Ocean & Polar Res.*, 27, 149-159.
- 이석구, 부성민. 1998. 아산 남방계에서 식물플랑크톤의 계절 변화. *한국유수학회지*, 31, 181-185.
- 이진환, 윤수미. 2000. 여자만의 수질과 식물플랑크톤 군집. *Algae*, 15, 89-98.
- 이진환, 이은호. 1999. 득량만 수질과 식물플랑크톤 적조. *환경생물학회지*, 17, 271-278.
- 이진환, 정승환, 김종만. 2005a. 통영 바다목장 해역에서 식물플랑크톤군집에 미치는 환경요인의 영향. *Ocean & Polar Res.*, 27, 15-24.
- 정미희. 2003. 해초 부착구조의 생태 및 분류학적 특성에 관한 연구. 한양대학교 박사학위 논문. 150 p.
- 조은영, 차재훈, 김미경, 김기태. 2000. 영일만 연안의 생태계 연구: I. 식물플랑크톤의 종조성과 군집의 다양성. *Algae*, 15, 49-59.
- Borum, J. 1987. Dynamics of epiphyton on eelgrass(*Zostera marina* L.) leaves: Relative roles of algal growth, herbivory, and substratum turnover. *Limnol. Oceanogr.*, 32, 986-992.
- Borum, J. and S. Wium-Andersen. 1980. Biomass and production of epiphytes on eelgrass(*Zostera marina* L.) in the Oresund, Denmark. *Ophelia*, 1, 57-64.
- Choi, J.K. and J.H. Shim. 1988. The Ecological study of phytoplankton in Kyunggi Bay, Yellow Sea. VI. The successional mechanism and the structure of the phytoplankton community. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 23, 1-12.
- den Hartog, C. 1970. The Sea-Grasses of the World. North-Holland Publication Co.
- Fonseca, M.S. and J.A. Cahalan. 1992. A preliminary evaluation of wave attenuation by four species of seagrass. *Estuar., Coast. Shelf Sci.*, 35, 565-576.
- Hemminga, M.A. and C.M. Duarte. 2000. Seagrass Ecology. Cambridge Univ. Press. 298 p.
- Isamu, Y. 1982. Illustration of the Marine Plankton of Japan. Hoikusha.
- Jacobs, R.P.W.M. and T.M.P.A. Noten. 1980. The annual pattern of the diatoms in the epiphyton of eelgrass (*Zostera marina* L.) at Roscoff, France. *Aquat. Bot.*, 8, 355-370.
- Jacobs, R.P.W.M., P.M. Hermelink, and G. van Geel. 1983. Epiphytic algae on eelgrass at Roscoff, France. *Aquat. Bot.*, 15, 157-173.
- Lee, S.Y. 2001. A study on the ecological and taxonomical characteristics of *Zostera*(Zosteraceae) in Korea. Ph.D. Thesis, Hanyang Univ., Seoul. 167 p.
- Lee, S.Y., S.M. Lee, and C.I. Choi. 2005a. Phenology and reproductive effort of two *Zostera marina* L. populations on the southern coast of Korea. *Ocean & Polar Res.*, 27, 67-74.
- Lee, S.M., S.Y. Lee, and C.I. Choi. 2005b. Reproductive phenology of four Korean seagrasses, *Zostera caespitosa*, *Z. caulescens*, *Z. japonica* and *Z. marina*. *Ocean & Polar Res.*, 27, 125-133.
- Parsons, T.R., Y. Maita, and C.M. Lalli. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, New York.
- Sand-Jensen, K. 1977. Effect of epiphytes on eelgrass photosynthesis. *Aquat. Bot.*, 3, 55-63.
- 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 caonical correlation analysis. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 22, 34-42.
- Sieburth, J.McN. and C.D. Thomas. 1973. Fouling on eelgrass(*Zostera marina* L.). *J. Phycol.*, 9, 46-50.
- Taylor, D., S. Nixon, S. Granger, and B. Buckley. 1995. Nutrients limitation and the eutrophication of coastal lagoons. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 127, 235-244.

Received Jan. 5, 2006

Accepted Jun. 8, 2006