

이원면 굴, *Crassostrea gigas* 양식어장의 월별 식물플랑크톤 종조성 및 수질환경 변화

김수경, 김병호¹, 오은경, 송기철, 박승윤, 한기연¹, 임현정

국립수산과학원 서해수산연구소, ¹해양환경연구소

Monthly Variation of Phytoplankton Composition and Water quality in Cupped Oyster *Crassostrea gigas* Culture Area in Iwon, Korea

Kim Su Kyoung, Kim Byeong Ho¹, Oh Eun Kyoung, Song Gi Chul, Ho, Park Soung Yun,
Hahn Ki Yeon¹, Lim Hyun Jeong

West Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Incheon 400-420, Korea

¹Marine Environmental Research Lab, Ansan 426-862, Korea

ABSTRACT

Phytoplankton species composition and ecological index (diversity, evenness, richness and dominance) were analysed from April 2013 to March 2014 at 10 stations of cupped oyster, *Crassostrea gigas* culture area in Iwon coast, Korea. Seasonal and positional variation of phytoplankton standing crops, biomass, dominant species and water quality were distinctively different according to occasionally inflow of Iwon dam reservoir water. The composition of phytoplankton species were Bacillariophyceae 98, Dinophyceae 22, Chlorophyceae 13, Cyanophyceae 8, Silicoflagellate 4, Euglenophyceae 2, Cryptophyceae 1 species. The most dominant species was Bacillariophyceae as 64.0%. The highest biomass of phytoplankton recorded in September as $40,910 \times 10^3$ cell/L at the station 1, near from inland water inflow area. Ecological indices (diversity, richness, evenness, and dominance index), used for structural change of phytoplankton community and water quality (temperature, dissolved oxygen, salinity) showed difference of spatiotemporal property also.

Key words: phytoplankton, composition, oyster, water quality, Iwon

서 론

대부분의 국내 어장들은 반폐쇄성 내만에 집중되어 있으며 장기 양식과 높은 입식밀도에 의한 연안오염에 취약하여 지속적인 양식을 위해 어장관리가 매우 중요한 실정이다 (Cho *et al.*, 2012). 이러한 입식밀도 이외에도 굴 양식에서 가장 중요한 것은 패류, 어류, 동물 플랑크톤 등의 먹이가 되는 식물플랑크톤으로 양식장의 생산성, 환경수용력을 산정할 수 있는 기본

적인 자료로 요구 되고 있다. 현재 우리나라 서해안 굴 양식은 조석간만의 차이, 넓은 조간대를 활용한 수평양식 양식이 성행하고 있다. 충남 태안군 이원면의 굴 양식장은 인근 농경을 위한 방조제 수문과 연결되어 있으며 현재 25 ha의 대규모 굴 양식이 이루어지고 있으나 지속적 생산을 위한 환경수용력 산정을 위한 자료조사는 미흡한 실정이다. 환경수용력 산정을 위한 가장 기본이 되는 식물 플랑크톤은 넓은 양식지내에서도 조류의 방향, 육지로부터 유입되는 담수의 영향, 수질환경 등에 의해서도 빠르게 종조성과 생물량이 변화하고 굴은 이러한 먹이원, 노출시간, 저서생물 그리고 경쟁생물에 의하여 성장에 차이를 보일 수 있으므로 시공간적인 플랑크톤의 분포 및 수질환경을 알아보는 것은 매우 중요하다 할 수 있다. 이러한 일차 생산력과 수질환경을 기반으로 어장의 양식생물 수용량을 결정하여야 지속적인 최대생산이 가능하나 현재 우리나라에서 환경수용력과 양식생물의 입식밀도 조사가 이루어진 곳은 거제, 한산만 굴 양식장 (Park *et al.*, 2002a,b, Cho *et al.*, 2012), 고성만의 굴양식장 수용력 (이상준, 2009) 등이 있으며

Received: September 15, 2014; Revised: September 18, 2014; Accepted: September 23, 2014

Corresponding author : Lim Hyun Jeong

Tel: +82 (32) 745-0720 e-mail: hjlim@nfrdi.go.kr
1225-3480/24536

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

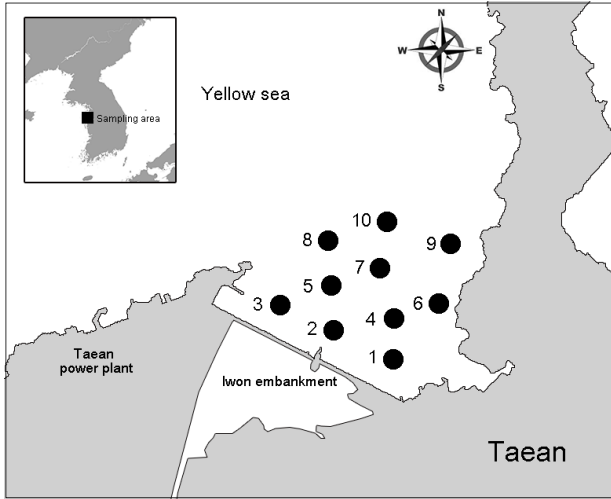


Fig. 1. Survey area in Iwon, Chungnam, Korea and 10 sampling stations.

본 연구 조사 인근지역인 태안군 의항면의 식물플랑크톤 종조성 (Lim *et al.*, 2012) 을 연구한 논문이 소수 있을 뿐이다.

본 연구에서는 충남 태안군 이원면 굴 양식어장의 식물플랑크톤 종 조성, 계절과 위치에 따른 변화와 물리화학적 환경을 조사하여 향후 효율적 개체굴 양식시설의 배치 및 어장 관리를 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 태안군 이원면 조사어장 정점

삼베체 굴 수평망 양성어장인 충남 태안군 이원면 이원방조제에 위치한 수평망식 양성기 시설지역을 어장의 위치를 고려하여 10개 정점을 선정하였다. 조사정점의 좌표는 1번 정점 위도 36°54'00.00"N, 경도 126°16'57.00"E, 3번 정점 위도 36°54'24.00"N, 경도 126°15'27.00"E, 9번 정점 위도 36°55'08.00"N, 경도 126°17'15.00"E, 10번 정점 위도 36°55'46.00"N, 경도 126°16'29.00"E 였다 (Fig. 1).

2. 식물플랑크톤 조사

식물플랑크톤의 정량분석을 위한 시료는 각각의 정점에서 Niskin 채수기를 이용하여 채수한 다음 1 L 폴리에틸렌 병에 담고 Lugol 용액으로 즉시 고정된 후 실험실로 운반하였다. 운반된 시료는 2일 이상 암실에서 정치한 후 미세사이폰을 이용하여 상등액을 따라 내고 일정량으로 농축시켰다. 농축된 시료 중 1 mL를 취하여 Sedgwick-Rafter 계수판에 넣고 광학현미경 (Olympus BX41) 으로 관찰하여 동정 및 계수를 하였고, 단위부피당 세포수 (cells/L) 로 환산하였다. 동정을 위해 심 (1994), 千原村野 (1997) 등의 문헌을 참고하였다.

식물플랑크톤의 생태학적 군집구조를 파악하기 위한 생태지

수는 Shannon-Weaver (1963) 의 종다양도지수 (H'), Margalef (1958) 의 풍부도지수 (R) 와 Simpson (1949) 의 우점도지수 (λ) 를 다음과 같은 식을 이용하여 계산하였다. 종다양성지수 $H = -\sum p_i \ln p_i$ (P_i : 총 출현개체수에 대한 i 번째 종의 개체수), 풍부도지수 $R = S - 1 / \ln(N)$ (S : 출현 종수, $\ln(N)$; 개체수에 자연로그 취한 값), 우점도지수 $\lambda = \sum n_i(n_i - 1) / N(N - 1)$ (n_i : i 번째 종의 개체수; N : 총 개체수)

3. 수질환경 조사

충남 태안군 이원면 이원방조제에 위치한 굴 수평망식 양성기 시설지역 중 식물플랑크톤 조사 정점에 대하여 매월 만조시 해수를 1 L 씩 채취하여 필터를 한 후 수질환경요소인 NH₄, NO₂, NO₃, DIN, TP, Silicate, chlorophyll-a, SPM을 해양검정시험법 (MLTL, 2010) 에 의하여 수행하였다. 용존무기질소는 암모니아질소, 아질산질소 및 질산질소를 합한 값으로 표시하였다.

결 과

1. 식물플랑크톤 종조성

전체 조사 기간 동안 출현한 식물플랑크톤은 총 139 종이었으며, 분류군별로는 규조류 (Bacillariophyceae) 가 89 종, 와편모조류 (Dinophyceae) 22 종, 녹조류 (Chlorophyceae) 13 종, 남조류 (Cyanophyceae) 8 종, 규질편모조류 (Silicoflagellate) 4 종, 유글레나류 (Euglenophyceae) 2 종, 은편모조류 (Cryptophyceae) 1 종이 출현하였다. 규조류는 64.0%의 점유율로 가장 다양하였으며, 다음으로는 와편모조류 15.8%, 녹조류 9.4%, 남조류가 5.8%, 규질편모조류가 2.9%, 유글레나류가 1.4%, 은편모조류가 0.7%의 점유율을 나타냈다.

시기별로는 2013년 4월에 53 종, 5월에 51 종이 출현하여 큰 차이를 보이지 않았으며, 6월에는 43 종으로 감소하였다. 이후 지속적인 종 수 증가를 나타냈으며, 9월에는 인근에 위치한 이원방조제로부터 녹조류와 남조류가 유입되며 78종으로 가장 다양한 종 수를 보였다. 10월에는 상기한 두 분류군이 관찰되지 않아 40 종으로 감소하였고, 11월과 12월, 2014년 1월에는 각각 54 종, 53 종, 54 종으로 10월 보다 규조류가 다양하게 관찰되어 증가하였다. 2014년 2월에는 51 종으로 2014년 1월에 관찰되었던 은편모조류와 유글레나류가 출현하지 않아 감소하였다. 2014년 3월에는 47 종으로 감소했으나, 2월에는 출현하지 않았던 은편모조류가 관찰되었다. 결과적으로 연간 총 식물플랑크톤 종 수의 변화는 하계에 종 수가 다양하지만 이후 감소하며 시공간적 차이를 보였다 (Fig. 2).

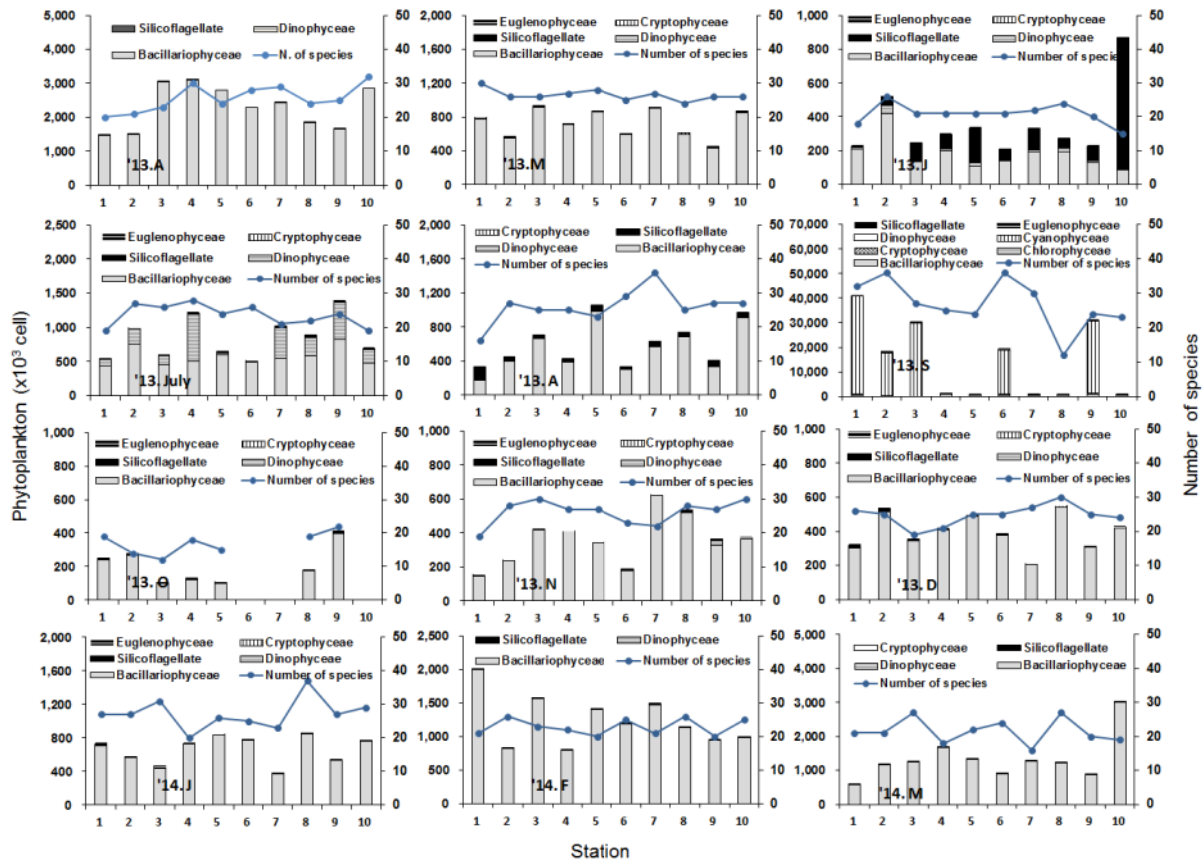


Fig. 2. Monthly variation of total standing crops of phytoplanktons and total number of species in cupped oyster culture area in Iwon, Korea.

2. 식물플랑크톤 현존량

식물플랑크톤의 밀도는 2013년 4월 조사에서 $1,461 \times 10^3$ - $3,081 \times 10^3$ cells/L의 범위로 같은 시기라 하더라도 정점 간 차이를 보였다 (Fig. 2). 6월에는 5번과 10번 정점에서 무해성 적조 생물인 *Prorocentrum minimum*의 현존량이 상대적으로 높아졌으며 6번 정점에서 가장 낮은 현존량인 231×10^3 cells/L 였고, 가장 높은 현존량은 10번 정점에서 893×10^3 cells/L로 약 3.9배의 차이를 보였다. 9월에는 인근에 위치한 이원방조제로부터 담수가 배출되어 남조류인 *Aphanizomenon flos-aquae*, *Phormidium* sp.의 다량 유입으로 현존량이 1, 2, 3, 6, 9 정점에서 $17,862 \times 10^3$ - $40,919 \times 10^3$ cells/L까지 급격히 증가하는 것으로 나타났으며 5개의 정점은 605×10^3 - 821×10^3 cells/L의 범위에서 변화하였다. 10월에는 모든 정점에서 현존량이 감소하여 23×10^3 - 285×10^3 cells/L의 범위였으며, 이듬해 1월부터 3월까지의 식물플랑크톤의 현존량이 각 정점마다 점차 증가하였으나 정점별로 578×10^3 - $3,027 \times 10^3$ cells/L까지 큰 차이를 보였다.

3. 우점종

우점종은 조사 시기별로 상이한 특성을 나타내어 2013년 4월에는 국내 해역에서 가장 흔히 출현하며 주로 내만에 분포하는 광온-광염성 규조류인 *Skeletonema costatum*이 전체 조사 정점에서 50.18-74.12%를 차지하며 제 1 우점종으로 구성되었으며, 제 2 우점종은 정점에 따라 차이를 보였다 (Table 1). 5월에는 일시 부유성 저서규조류의 일종인 *Paralia sulcata*가 20.41-61.54%, 정점 6에서는 *Nitzschia* sp.와 *Thalassiosira eccentrica*가 각각 17.83%로 구성되었다. 6월에는 *Cylindrotheca closterium*과 *Prorocentrum minimum*이 2번 정점을 제외한 전 정점에서 우점종으로 관찰되었다. 7월에는 *Skeletonema costatum* (St. 1, 2, 5, 6, 10), *Cryptomonas* sp. (St. 3, 4, 7, 8, 9) 가 제 1 우점종으로 조사되었다. 8월에는 *Scrippsiella trochoidear*가 1번 정점에서 34.09%, 이외의 정점에서는 *Eucampia zodiacus*가 41.14-72.87%로 매우 높은 우점비율을 나타냈다. 9월에는 *Phormidium* sp., *Aphanizomenon flos-aquae*와 *Skeletonema costatum*으로 다양하였고, 10월에는 *Paralia*

Table 1. Seasonal succession of dominant phytoplankton species in 10 stations of cupped oyster culture area in Iwon, Chungnam, Korea

Mon	Site	Dominant Species			
		1 st dominant species	%	2 nd dominant species	%
April 2013	St. 1	<i>Skeletonema costatum</i>	70.80	<i>Paralia sulcata</i>	7.64
	St. 2	<i>Skeletonema costatum</i>	62.38	<i>Chaetoceros debilis</i>	16.83
	St. 3	<i>Skeletonema costatum</i>	59.04	<i>Paralia sulcata</i>	14.90
	St. 4	<i>Skeletonema costatum</i>	68.55	<i>Paralia sulcata</i>	10.74
	St. 5	<i>Skeletonema costatum</i>	67.84	<i>Chaetoceros debilis</i>	10.43
	St. 6	<i>Skeletonema costatum</i>	74.12	<i>Chaetoceros debilis</i>	8.58
	St. 7	<i>Skeletonema costatum</i>	72.27	<i>Chaetoceros debilis</i>	8.82
	St. 8	<i>Skeletonema costatum</i>	62.76	<i>Chaetoceros debilis</i>	11.93
	St. 9	<i>Skeletonema costatum</i>	50.18	<i>Chaetoceros debilis</i>	18.63
	St. 10	<i>Skeletonema costatum</i>	51.60	<i>Paralia sulcata</i>	27.53
May, 2013	St. 1	<i>Paralia sulcata</i>	42.89	<i>Cylindrotheca closterium</i>	16.96
	St. 2	<i>Paralia sulcata</i>	20.41	<i>Cylindrotheca closterium</i>	21.09
	St. 3	<i>Paralia sulcata</i>	41.00	<i>Cylindrotheca closterium</i>	13.81
	St. 4	<i>Paralia sulcata</i>	26.00	<i>Skeletonema costatum</i>	11.35
	St. 5	<i>Paralia sulcata</i>	27.80	<i>Skeletonema costatum</i>	23.77
	St. 6	<i>Nitzschia</i> sp. <i>Thalassiosira eccentrica</i>	17.83	<i>Paralia sulcata</i>	16.56
	St. 7	<i>Paralia sulcata</i>	50.76	<i>skeletonema costatum</i>	11.71
	St. 8	<i>Paralia sulcata</i>	46.11	<i>Guinardia delicatula</i>	8.10
	St. 9	<i>Paralia sulcata</i>	22.76	<i>skeletonema costatum</i>	12.20
	St. 10	<i>Paralia sulcata</i>	61.54	<i>skeletonema costatum</i>	7.69
June, 2013	St. 1	<i>Cylindrotheca closterium</i>	29.09	<i>Paralia sulcata</i>	20.00
	St. 2	<i>Paralia sulcata</i>	51.93	<i>Cryptomonas</i> sp.	10.30
	St. 3	<i>Prorocentrum minimum</i>	36.52	<i>Cylindrotheca closterium</i>	13.04
	St. 4	<i>Prorocentrum minimum</i>	25.53	<i>Paralia sulcata</i>	23.40
	St. 5	<i>Prorocentrum minimum</i>	56.77	<i>Cylindrotheca closterium</i>	7.10
	St. 6	<i>Prorocentrum minimum</i>	22.22	<i>Thalassiosira</i> sp.	19.19
	St. 7	<i>Prorocentrum minimum</i>	35.93	<i>Thalassiosira</i> sp.	15.57
	St. 8	<i>Paralia sulcata</i>	15.63	<i>Thalassiosira</i> sp.	8.59
	St. 9	<i>Prorocentrum minimum</i>	26.17	<i>Thalassiosira</i> sp.	14.95
	St. 10	<i>Prorocentrum minimum</i>	89.31	<i>Thalassiosira</i> sp.	5.23
July, 2013	St. 1	<i>Skeletonema costatum</i>	47.89	<i>Cryptomonas</i> sp.	17.61
	St. 2	<i>Skeletonema costatum</i>	30.30	<i>Cryptomonas</i> sp.	22.90
	St. 3	<i>Cryptomonas</i> sp.	21.39	<i>Skeletonema costatum</i>	16.76
	St. 4	<i>Cryptomonas</i> sp.	56.34	<i>Paralia sulcata</i>	17.25
	St. 5	<i>Skeletonema costatum</i>	33.00	<i>Paralia sulcata</i>	23.57
	St. 6	<i>Skeletonema costatum</i>	24.00	<i>Paralia sulcata</i>	19.64
	St. 7	<i>Cryptomonas</i> sp.	45.58	<i>Skeletonema costatum</i>	18.14
	St. 8	<i>Cryptomonas</i> sp.	30.88	<i>Skeletonema costatum</i>	26.13
	St. 9	<i>Cryptomonas</i> sp.	39.18	<i>Skeletonema costatum</i>	27.59
	St. 10	<i>Skeletonema costatum</i>	31.70	<i>Cryptomonas</i> sp.	28.82
Aug. 2013	St. 1	<i>Scrippsiella trochoidea</i>	34.09	<i>Navicula</i> sp.	14.77
	St. 2	<i>Eucampia zodiacus</i>	53.23	<i>Amphora</i> sp.	14.77
	St. 3	<i>Eucampia zodiacus</i>	41.14	<i>Paralia sulcata</i>	6.85
	St. 4	<i>Eucampia zodiacus</i>	64.45	<i>Chaetoceros</i> sp.	25.14
	St. 5	<i>Eucampia zodiacus</i>	72.87	<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>	4.27
	St. 6	<i>Eucampia zodiacus</i>	40.51	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	12.55
	St. 7	<i>Eucampia zodiacus</i>	60.91	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	8.23
	St. 8	<i>Eucampia zodiacus</i>	62.59	<i>Paralia sulcata</i>	5.08
	St. 9	<i>Eucampia zodiacus</i>	50.91	<i>Paralia sulcata</i>	13.69
	St. 10	<i>Eucampia zodiacus</i>	56.90	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	9.55
Sept. 2013	St. 1	<i>Phormidium</i> sp.	45.74	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	33.13
	St. 2	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	54.50	<i>Phormidium</i> sp.	22.12
	St. 3	<i>Phormidium</i> sp.	43.37	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	41.69
	St. 4	<i>Skeletonema costatum</i>	47.32	<i>Chaetoceros debilis</i>	10.24
	St. 5	<i>Skeletonema costatum</i>	43.11	<i>Chaetoceros</i> sp.	7.19
	St. 6	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	52.41	<i>Phormidium</i> sp.	28.55
	St. 7	<i>Skeletonema costatum</i>	22.16	<i>Chaetoceros</i> sp.	15.14
	St. 8	<i>Skeletonema costatum</i>	62.43	<i>Paralia sulcata</i>	10.58
	St. 9	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	64.72	<i>Phormidium</i> sp.	25.44
	St. 10	<i>Skeletonema costatum</i>	31.88	<i>Paralia sulcata</i>	15.63

Mon	Site	Dominant Species			
		1 st dominant species	%	2 nd dominant species	%
Oct. 2013	St. 1	<i>Paralia sulcata</i>	14.93	<i>Guinardia delicatula</i>	13.43
		<i>Chaetoceros debilis</i>	14.93		
		<i>Thalassiosira subtilis</i>	14.93		
	St. 2	<i>Paralia sulcata</i>	66.67	<i>Navicula</i> sp.	5.33
				<i>Bacillaria paxillifer</i>	12.50
	St. 3	<i>Guinardia delicatula</i>	18.75	<i>Melosira moniliformis</i>	12.50
	St. 4	<i>Asterionellopsis glacialis</i>	15.15	<i>Thalassiosira</i> sp.	12.12
	St. 5	<i>Paralia sulcata</i>	18.52	<i>Cylindrotheca closterium</i>	11.11
				<i>Skeletonema costatum</i>	11.11
	St. 6	defect sample		defect sample	
St. 7	defect sample		defect sample		
St. 8	<i>Paralia sulcata</i>	26.53	<i>Navicula</i> sp.	12.24	
St. 9	<i>Paralia sulcata</i>	58.49	<i>Chaetoceros debilis</i>	5.66	
St. 10	defect sample		defect sample		
Nov. 2013	St. 1	<i>Skeletonema costatum</i>	19.05	<i>Paralia sulcata</i>	13.10
	St. 2	<i>Paralia sulcata</i>	25.58	<i>Skeletonema costatum</i>	19.38
	St. 3	<i>Paralia sulcata</i>	60.76	<i>Skeletonema costatum</i>	8.44
	St. 4	<i>Paralia sulcata</i>	57.75	<i>Skeletonema costatum</i>	12.21
	St. 5	<i>Paralia sulcata</i>	44.63	<i>Skeletonema costatum</i>	12.43
	St. 6	<i>Paralia sulcata</i>	24.24	<i>Skeletonema costatum</i>	12.12
	St. 7	<i>Paralia sulcata</i>	60.91	<i>Bacillaria paxillifer</i>	11.05
	St. 8	<i>Paralia sulcata</i>	67.00	<i>Skeletonema costatum</i>	6.00
	St. 9	<i>Paralia sulcata</i>	59.80	<i>Cryptomonas</i> sp.	7.84
				<i>Coscinodiscus</i> sp.	5.10
St. 10	<i>Paralia sulcata</i>	57.14	<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>	5.10	
Dec. 2013	St. 1	<i>Paralia sulcata</i>	40.74	<i>Skeletonema costatum</i>	30.25
	St. 2	<i>Paralia sulcata</i>	51.33	<i>Skeletonema costatum</i>	19.77
	St. 3	<i>Paralia sulcata</i>	22.73	<i>Skeletonema costatum</i>	22.27
	St. 4	<i>Skeletonema costatum</i>	28.57	<i>Paralia sulcata</i>	21.01
	St. 5	<i>Paralia sulcata</i>	46.36	<i>Skeletonema costatum</i>	11.11
	St. 6	<i>Paralia sulcata</i>	56.81	<i>Skeletonema costatum</i>	9.39
	St. 7	<i>Skeletonema costatum</i>	21.05	<i>Paralia sulcata</i>	19.30
	St. 8	<i>Paralia sulcata</i>	51.89	<i>Skeletonema costatum</i>	11.01
	St. 9	<i>Paralia sulcata</i>	39.25	<i>Skeletonema costatum</i>	10.75
	St. 10	<i>Paralia sulcata</i>	56.91	<i>Bacillaria paxillifer</i>	8.13
Jan. 2014	St. 1	<i>Skeletonema costatum</i>	35.75	<i>Paralia sulcata</i>	34.64
	St. 2	<i>Paralia sulcata</i>	49.85	<i>Skeletonema costatum</i>	20.12
	St. 3	<i>Paralia sulcata</i>	49.39	<i>Skeletonema costatum</i>	12.65
	St. 4	<i>Paralia sulcata</i>	64.71	<i>Skeletonema costatum</i>	18.38
	St. 5	<i>Paralia sulcata</i>	61.37	<i>Skeletonema costatum</i>	17.54
	St. 6	<i>Paralia sulcata</i>	61.64	<i>Skeletonema costatum</i>	19.84
	St. 7	<i>Paralia sulcata</i>	54.92	<i>Skeletonema costatum</i>	9.33
	St. 8	<i>Paralia sulcata</i>	56.60	<i>Skeletonema costatum</i>	12.08
	St. 9	<i>Paralia sulcata</i>	49.64	<i>Skeletonema costatum</i>	18.71
	St. 10	<i>Paralia sulcata</i>	51.87	<i>Skeletonema costatum</i>	9.98
Feb. 2014	St. 1	<i>Paralia sulcata</i>	75.71	<i>Thalassiosira eccentrica</i>	11.36
	St. 2	<i>Paralia sulcata</i>	67.43	<i>Skeletonema costatum</i>	7.66
	St. 3	<i>Paralia sulcata</i>	70.89	<i>Skeletonema costatum</i>	9.11
	St. 4	<i>Paralia sulcata</i>	65.56	<i>Thalassiosira eccentrica</i>	6.67
	St. 5	<i>Paralia sulcata</i>	59.22	<i>Skeletonema costatum</i>	18.99
				<i>Thalassiosira eccentrica</i>	7.64
	St. 6	<i>Paralia sulcata</i>	66.24	<i>Coscinodiscus</i> sp.	7.64
	St. 7	<i>Paralia sulcata</i>	80.20	<i>Thalassiosira eccentrica</i>	5.08
	St. 8	<i>Paralia sulcata</i>	57.73	<i>Skeletonema costatum</i>	8.93
	St. 9	<i>Paralia sulcata</i>	48.39	<i>Skeletonema costatum</i>	17.74
St. 10	<i>Paralia sulcata</i>	52.67	<i>Skeletonema costatum</i>	11.45	
Mar.20 14	St. 1	<i>Paralia sulcata</i>	43.04	<i>Skeletonema costatum</i>	24.05
	St. 2	<i>Paralia sulcata</i>	57.53	<i>Skeletonema costatum</i>	27.40
	St. 3	<i>Paralia sulcata</i>	74.42	<i>Thalassiosira eccentrica</i>	8.72
	St. 4	<i>Paralia sulcata</i>	73.04	<i>Skeletonema costatum</i>	9.80
	St. 5	<i>Paralia sulcata</i>	58.40	<i>Skeletonema costatum</i>	22.74
	St. 6	<i>Paralia sulcata</i>	61.82	<i>Thalassiosira eccentrica</i>	10.91
	St. 7	<i>Paralia sulcata</i>	72.41	<i>Skeletonema costatum</i>	14.37
	St. 8	<i>Paralia sulcata</i>	61.49	<i>Skeletonema costatum</i>	15.52
	St. 9	<i>Paralia sulcata</i>	66.95	<i>Thalassiosira eccentrica</i>	8.37
	St. 10	<i>Paralia sulcata</i>	82.74	<i>Skeletonema costatum</i>	7.38

Table 2. Ecological index of phytoplankton at the 10 stations in the Ewon cupped oyster culture area, Korea. H': diversity index, E; species evenness, R; species richness, λ; dominance index

	Stations				
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5
Diversity index (H')	1.91 ± 0.52	1.83 ± 0.44	1.89 ± 0.51	1.88 ± 0.55	1.85 ± 0.46
Species evenness (E)	0.62 ± 0.18	0.57 ± 0.13	0.61 ± 0.18	0.60 ± 0.18	0.59 ± 0.16
Species richness (R)	1.58 ± 0.32	1.79 ± 0.32	1.70 ± 0.37	1.68 ± 0.26	1.65 ± 0.24
Dominance index(λ)	0.27 ± 0.15	0.31 ± 0.12	0.29 ± 0.15	0.32 ± 0.16	0.31 ± 0.14
	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9	St. 10
Diversity index (H')	1.93 ± 0.57	1.82 ± 0.56	1.89 ± 0.44	1.89 ± 0.43	1.67 ± 0.55
Species evenness (E)	0.60 ± 0.18	0.57 ± 0.17	0.60 ± 0.14	0.60 ± 0.14	0.52 ± 0.17
Species richness (R)	1.85 ± 0.18	1.78 ± 0.41	1.78 ± 0.43	1.70 ± 0.26	1.71 ± 0.38
Dominance index(λ)	0.29 ± 0.16	0.34 ± 0.18	0.31 ± 0.13	0.29 ± 0.12	0.38 ± 0.19

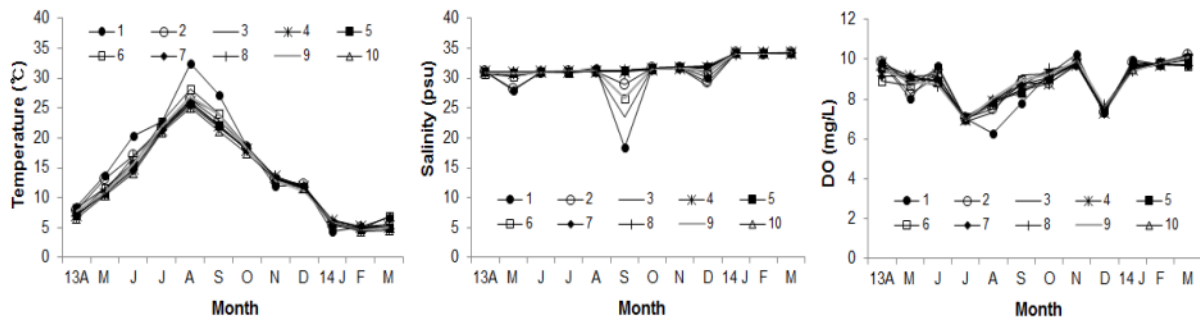


Fig. 3. Temperature, salinity and dissolved oxygen of 10 stations in Iwon cupped oyster culture area between April 2013 to March 2014.

sulcata, *Chaetoceros debilis*, *Thalassiosira subtilis*, *Guindardia delicatula*, *Asterionellopsis glacialis*이 우점하며 지속적으로 다양한 종들이 우점종으로 구성되었다. 이 후 11월부터 1월까지 일부 정점에서만 *Skeletonema costatum*이 우점하였으며, 그 이외의 정점과 수온이 하강하는 2월과 3월에는 모든 정점에서 *Paralia sulcata*가 매우 높은 비율을 차지했다.

4. 생태학적 지표 (H', R, λ)

생태학적 지표 중 종 다양도지수 (Shannon-Weaver index, H') 는 계절별, 조사 정점별로 차이를 보였다 (Table 2). 연 평균 종다양성 지수가 가장 높은 지역은 1번 정점으로 1.93 ± 0.57, 가장 낮은 정점은 1.67 ± 0.55로 10번 정점이었다. 균등도 지수 (E) 는 가장 높은 지역이 정점 1로 0.62 ± 0.18, 가장 낮은 곳은 10번 정점 0.52 ± 0.17였다. 풍부도지수 (R) 는 정점 6이 1.85 ± 0.18로 가장 높고, 정점 1이 1.58 ± 0.32로 낮았다. 우점도지수 (λ) 는 1번 정점에서 11월에 최소 0.09, 4월에 최대 0.51로 계절별로 가장 큰 차이를 보였으며, 공간적으로 정점 10에서 최대 0.38 ± 0.19 및 정점 1에서 최

소 0.27 ± 0.15의 우점도 지수 값을 보였다.

5. 수질환경 변화

갯벌참굴 개체굴 양식 어장에서의 수온변화를 보면 여름철인 8월에 모든 정점에서 가장 높은 수온을 보였으며 (25-28°C), 1번 정점에서는 가장 높은 수온인 32.4°C로 조사되었다 (Fig. 3). 1번 정점을 제외하고 조사기간 동안에 수온에 큰 차이를 보이지 않았으나 1번 정점에서는 4월부터 9월까지 타 정점보다 0.4-3°C 가량 높은 수온을 보였다. 염분은 2013년 5월, 9월, 12월에 4개의 정점에서 낮은 값을 보였다. 5월에는 10개의 정점에서 28.1-31.2 psu의 범위 내에서 변화하였으나 9월에는 1번 정점에서 18.4 psu, 3번 정점에서 23.5 psu로 타 정점보다 매우 낮은 값으로 조사되었다. 12월의 모든 정점의 염분 범위는 28.8-31.8 psu 였다. 용존산소는 7월과 11월에 낮은 값을 보였으며 8월과 9월에 1번 정점을 제외하고 유사한 변화 양상을 보였다. 가장 낮은 용존산소 농도는 1번 정점의 경우 9월에 6.3 mg/L, 10번 정점은 7월에 6.97 mg/L로 기록되었다.

암모니아질소 (NH₄) 의 경우 모든 정점에서 일시적인 증가

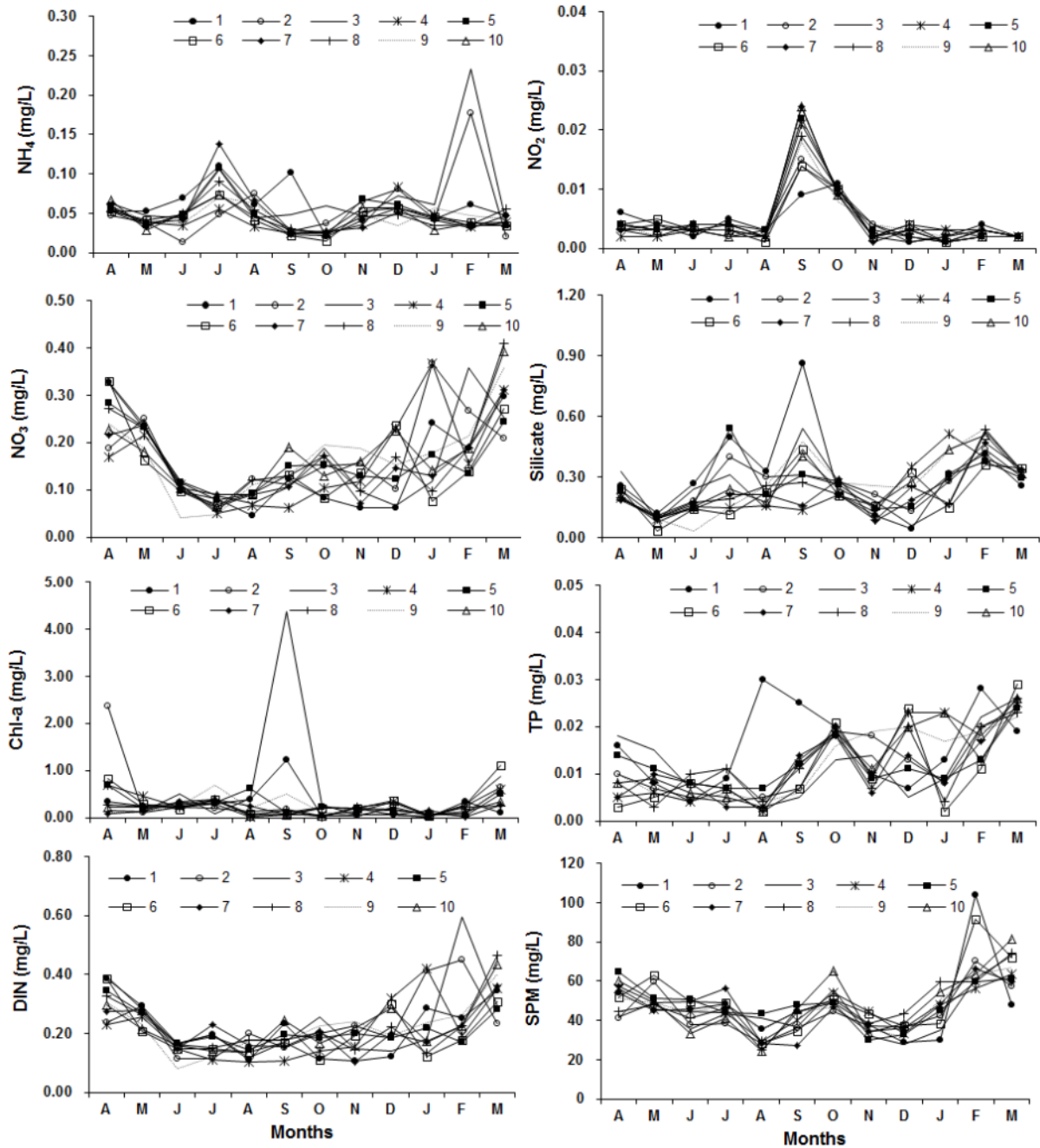


Fig. 4. Water physical parameter of 10 stations in Iwon cupped oyster culture area between April 2013 to March 2014.

를 보였으며, 이듬해 2월에는 이원방조제 수문에 가까이 위치한 2번, 3번 정점에서 0.18, 0.23 mg/L로 가장 높은 수치를 보였다 (Fig. 4). 아질산질소 (NO₂) 는 모든 정점에서 동일한 계절적 변화를 보였으며 10월에 0.01 mg/L의 값을 보인 1번, 2번 정점을 제외하고 9월에 가장 높은 수치를 보였다. 질산성 질소 (NO₃) 는 정점별로 큰 차이를 갖는 것으로 조사되었으며

4월부터 감소하여 7월-9월에 최저 값을 보였으며 점차 증가하였으나 정점별로 차이가 큰 것으로 조사되었다. 규산염은 조사 정점마다 증감을 반복하였으나 9월에 정점 1에서 가장 높은 값인 0.86 mg/L을 보였다. Chl-a는 9월에 방조제 수문에 가까운 1, 2, 3 정점에서 0.18-4.36 µg/L으로 다른 정점에 비해 매우 높은 농도를 보였다. 총인 (TP) 은 정점별, 계절별 차이

가 뚜렷하였으나 8월에 1번 정점에서 0.03 mg/L로 다른 정점보다 6-15배의 농도를 보였다.

토 론

식물플랑크톤의 생활사는 환경의 영향을 받아 짧은 시간에 매우 빠르게 변화한다 (Polat *et al.*, 2005). 본 연구가 수행된 태안 이원면의 굴 양식어장에서 출현한 식물플랑크톤의 대부분은 국내 연안역에서 흔히 관찰되는 종류로 구성되어 있었으나, 인접해 있는 방조제의 영향을 받아 같은 해역에서도 위치와 계절에 따라 조성에 차이를 보였다.

조사 시기별로는 2013년 4월 및 5월 조사에서는 광온광염성 규조류인 *Skeletonema costatum*이 전체 정점에서 고밀도로 분포하였다. 또한 일시 부유성 저서 규조류인 *Paralia sulcata*가 고밀도로 조사되어 조석 간만의 차이에 따른 해수 교란이 큰 전형적인 서해안의 특성을 반영하였다. 주로 저수온기에 흔히 관찰되는 *Chaetoceros debilis*는 전체 정점에서 높은 밀도로 분포하였고 (Kang *et al.*, 2006), *Asterionellopsis glacialis*, *Thalassiosira nordenskiöldii* 등이 관찰되며 계절적 특성을 반영했다. 모든 정점에서 출현한 종은 *Asterionellopsis glacialis*, *Asterionellopsis kariana*, *Chaetoceros* sp., *Coscinodiscus* sp., *Cylindrotheca closterium*, *Ditylum brightwellii*, *Navicula* sp., *Nitzschia* sp., *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira eccentrica*, *Thalassiosira nordenskiöldii*, *Thalassiosira* sp. 등으로 모두 규조류였다. 6월 조사에서는 무해성 적조원인생물인 *Prorocentrum minimum*이 대부분의 정점에서 다른 종들에 비해 높은 밀도로 분포하며 5월에 비해 와편모조류에 속하는 종들의 출현비율이 높은 편이었다. 이 종은 연안역에서 다량번식하며 고밀도로 출현할 경우 굴의 여과와 섭식에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으나 (Wikfors and Smolowitz, 1993), 적조경보 주의보 발령 기준인 3만 cells/mL에는 이르지 않는 수준이었다 (2-774 cells/mL). 또한 지역적 특성을 반영하여 육상에 인접한 해역에서 높은 우점률을 보이는 종으로 알려져 있는 은편모조류인 *Cryptomonas* sp.가 상위 우점종으로 구성되었다. 7월과 8월에는 기수종인 *Asterionellopsis kariana*와 기수역의 저서성인 *Cylindrotheca closterium*이 비교적 높은 밀도로 관찰되어 이원면 어장에 담수 유입의 영향이 있었던 것으로 추정된다. 이 후 9월에는 8월에 관찰되지 않았던 녹조류와 남조류가 관찰되었다. 남조류에서는 이질세포류 (heterocystus group) 에 속하는 *Aphanizomenon* 속, *Anabaena* 속, 비이질세포류 (non-heterocystus group) 에 속하는 *Oscillatoria* 속, *Phormidium* 속, 그리고 단세포 군체를 형성하는 *Microcystis* 속, 규칙배열을 하는 *Merismopedia* 속이 출현

하였다. 녹조류에서는 군체를 형성하는 *Pediastrum* 속, *Scenedesmus* 속으로 구성되었다. 이러한 담수 식물플랑크톤의 유입으로 인하여 이전 조사들에 비해 매우 높은 현존량을 보였으며 일부 정점에서는 40×10^6 cells/L까지 밀도 증가 경향을 보였다. 남조류를 제외하면 이전 조사들과 유사한 수준인 평균 641×10^3 cells/L의 밀도를 나타냈다. 이러한 분류군들은 방조제 수문에 인접한 지역인 3번 정점에서 연안쪽으로 1번과 6번, 9번 정점까지 넓게 분포하였으나 연안에서 상대적으로 이격 거리가 큰 다른 정점에서는 발견이 되지 않았다. 이는 창조시에 시료 채취를 실시하여 방류수에 비해 연안수의 영향이 좀 더 크게 작용한 것으로 추정된다. 2014년 2월 조사에서는 이전 2014년 1월 조사와 유사하게 규조류가 다양하게 관찰되었다. 부유성 저서 규조류인 *Paralia sulcata*가 상대적으로 높은 밀도로 분포하여 전형적인 서해역의 특성을 반영하고 있었으며, 수온이 낮은 동계와 이른 봄에 주로 출현하는 *Asterionellopsis glacialis*, *Thalassiosira nordenskiöldii*, 기수종인 *Asterionellopsis kariana*, 기수역에 분포하는 저서성 *Cylindrotheca closterium*의 출현은 담수유입의 영향을 시사하였고, 이외에는 광온광염성 규조류인 *Skeletonema costatum*이 상대적으로 높은 밀도로 관찰되었다.

이러한 결과를 토대로 살펴보았을 때 본 해역에서는 담수성 플랑크톤이 지속적으로 관찰되어 주기적인 담수의 유입이 일어남을 알 수 있었으며, 이원방조제로부터 담수 방류량이 증가하는 8, 9월에는 정점에 따라 우점종이 담수종과 해산종으로 구분되어 25ha의 면적을 나타내는 굴 양식장에서도 해수의 영향권과 담수의 영향권이 구분되고 있는 것으로 예상된다. 이원면 굴 양식해역의 물리적 수질환경을 보면 8월에 방조제 수문 근처에 위치한 1번 정점에서 수온이 30.4°C로 다른 지역과 계절보다 매우 높은 값을 보였으며, 9월에도 타 정점보다 높은 온도인 27.1°C를 기록되었다. 본 연구결과에서 담수성, 기수성 식물플랑크톤이 4월부터 지속적 검출로 주기적으로 담수가 굴 양식장 내로 유입이 되는 것으로 추정되었으나 조사정점에 염분의 농도가 변화 할 정도의 영향을 미치는 대규모 방류는 5월, 9월과 11월에 관찰이 되었으며 수온은 5월부터 10월까지 방조제 수문 근처인 정점 1, 2, 3에서 다른 정점보다 약 1-6°C까지 수온이 더 높은 것으로 조사되었다. 이는 방조제 내 저장되어 있던 고수온의 담수가 다량 배출되어 영향을 미친 것으로 추정되며 식물플랑크톤의 종조성과 현존량의 변화를 본 결과와 일치하였다.

본 해역은 이원방조제로부터 부정기적으로 방류되는 담수에 의해 환경 변화를 나타내고 있다. 모든 화학적 수질분석 항목에서 생물학적 특성, 물리적 수질환경에서와 같이 담수의 유입을 의미하는 수치적 변화를 보였으며, 특히 방조제 수문에 인접한 1, 2, 3번 정점에서 다른 지역과 다른 변화 값을 보였다.

암모니아는 2, 3 정점에서 겨울철인 '14년 2월에 급격한 증가를 보였고 아질산은 9월에 모든 정점에서 전월보다 3-14배까지 증가하였다. 육상 담수저수지의 수질환경에 대한 연구 결과에서는 인산염이 여름철 강우량이 커질 때 유입이 되어 겨울철보다 여름에 저수지에서 높게 나타난다고 보고되고 있다 (Kim *et al.*, 2001). 이와 같이 본 연구에서도 8월과 9월에 방조제 수문에 가까운 1번 정점에서 염분이 낮아지고 타 정점과는 다르게 높은 총인 농도를 나타내었으며 1번과 3번 정점에서 클로로필-a의 농도가 급증하였고, 규산염의 증가, 아질산의 증가 등의 현상이 두드러지게 나타났다. 이러한 영양원의 급증과 그 비율의 불균형은 일차생산력의 제한요인이 될 수 있는 지표로 사용되어 왔다 (Domingues and Galvão, 2007). 영양원의 유입이 증가하면 생산성이 증가하고 영양원을 경쟁적으로 소비함으로써 그 비율이 달라지고 식물플랑크톤의 종조성이 달라지는 것으로 알려져 있다 (Sommer, 1995, 1996; Tilman, 1977, 1986; Soeteart *et al.*, 1994, 1995; Kocum *et al.*, 2002). 특히 Si:N의 비가 1이상이면 저서성 규조류, Si:N = 1이면 부유성 규조류, 저서성 규조류, 비 규조성 플랑크톤이 골고루 분포하여 계절적인 산소부족, 유해성 플랑크톤의 대량번식 등이 일어날 수 있으며, 1 이하에서는 비 규조성 플랑크톤과 부유성 규조류가 번식할 수 있다 (Dortch *et al.*, 1996). 본 연구에서는 시공간적 특성으로 4월과 5월에 모든 정점에서 1 이하의 비율을 보였으며 6월-7월에 일부 정점을 제외하고 1 이상의 비를 보였고, 9월에는 최대 3.7까지 높은 비율을 보였다. 이후 11월부터 일부 정점에서 Si:N의 비율은 1이하로 감소하였다. 본 연구에서는 전 조사 기간 동안에 이온 비율과 상관없이 담수의 대량유입 시기를 제외하고는 규조류가 주요 우점종으로 구성되었으나, 상기 연구 결과에서 제시한 것과 같은 유해성 종들의 대량번식은 관찰되지 않았다

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 경성과제인 갯벌참굴 양식생산성 향상 연구 (RP-2014-AQ-098) 에 의해 수행이 되었습니다.

REFERENCES

- Cho, Y.S., Lee, W.C., Hong, S.J., Kim, H.C., Kim, J.B. and Park, J.H. (2012) Estimation of stocking density using habitat suitability index and ecological indicator for oyster farms in Geoje-Hansan Bay. *Journal of Korean Society of Marine Environment & Safety*, **18**(3): 185-191.
- Domingues, R.B. and Galvão H. (2007) Phytoplankton and environmental variability in a dam regulated temperate estuary. *Hydrobiologia*, **586**: 117-134.
- Dortch, Q., Rabalais N.N., Turner E. and Qureshi N.A. (2001) Impacts of changing Si/N ratios and phytoplankton species composition. *Coastal and Estuarine Studies*, 37-48.
- Kang, Y.S., Choi, H.C., Noh, J.H., Choi, J.K. and Jeon, I.S. (2006) Seasonal variation of phytoplankton community structure in Northeastern coastal waters off the Korean peninsula. *Algae*, **21**(1): 83-90.
- Kim, B.C., Park, J.H., Hwang, G.S., Jun, M.S. and Choi, K.S. (2001) Eutrophication of reservoirs in South Korea. *Limnology*, **2**: 223-329.
- Kocum, E., Underwood, G.J. and Nedwell, D.B. (2002) Simultaneous measurement of phytoplankton primary production, nutrient and light availability along a turbid, eutrophic UK east coast estuary (the Colne Estuary). *Marine Ecology Progress Series*, **231**: 1-12.
- Lim, H.J., Back, S.H., Lim, M.S., Choi, E.H. and Kim, S.K. (2012) Regional variations in Pacific oyster, *Crassostrea gigas* growth and number of larvae occurrence and spat settlement along the west coast, Korea. *Korea J. Malacol.*, **28**(3): 259-267.
- Park, J.S., Kim, H.C., Choi, W.J., Lee, W.C. and Park, C.K., (2002a) Estimating the carrying capacity of a coastal bay for oyster culture. I. Estimating a food supply to oyster using an eco-hydrodynamic model in Geoje-Hansan bay. *J. Korean. Fish. Soc.*, **35**(4): 395-407.
- Park, J.S., Kim, H.C., Choi, W.J., Lee, W.C., Kim, D.M., Koo, J.H. and Park, C.K. (2002b) Estimation the carrying capacity of a coastal bay for oyster culture. II. The carrying capacity of Geoje-Hansan Bay. *J. Korean. Fish. Soc.*, **35**(4): 408-416.
- Polat, S., Akiz A. and Piner M.P., (2005) Daily variations of coastal phytoplankton assemblages in summer conditions of the northeastern Mediterranean (Bay of Iskenderun). *Pakistan Journal of Botany*, **37**: 715-724.
- Margalef R., (1958) Information theory in ecology. *Gen Syst*, **3**: 157-175.
- Shannon C.E. and Weaver W., (1963) The mathematical theory of communication. Univ. Illinois press Urbana, pp. 177
- Shimpson, E.H. (1949) Measurement of diversity, *Nature*, **163**: 688.
- Soeteart, K., Herman, P.M.J. and Kromkamp, J. (1994) Living in the twilight: estimating net phytoplankton growth in the Westerschelde estuary (The Netherlands) by means of an ecosystem model (MOSES). *Journal of Plankton Research*, **16**: 1277-1301.
- Sommer, U. (1995) Eutrophication related changes in phytoplankton species composition: is there a role of nutrient competition?, ICES-CM- 1995/T:7, 1995.
- Sommer, U. (1996) Nutrient competition experiments with periphyton from the Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series*, **140**: 161-167.
- Tilman, D. (1997) Resource competition between planktonic algae, An experimental and theoretical approach, *Ecology*, **68**: 338-348.
- Tilman, D., Kiesling, R., Sterner R., Kilham S.S. and

- Johnson, F.A. (1986) Green, bluegreen and diatom algae: taxonomic differences in competitive ability for phosphorus, silicon and nitrogen. *Archiv. Hydrobiologie*, **106**: 473-485.
- Wikfors G.H. and Smolowitz R.M. (1993) Detrimental effects of a *Prorocentrum* isolate upon hard clams and bay scallops in laboratory feeding studies. **In:** Smayda, T.J., Shimizu, Y. (Eds.), Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea. Elsevier, New York, pp. 447-452.
- 심재형 (1994) 한국동식물도감 제34권 식물편 (해양식물플랑크톤), 교육부. 487 pp.
- 이상준 (2009) 먹이가용성에 의한 고성만의 굴 양식장 수용력. 경상대. 학위논문, pp. 132.
- 千原·村野 (1997) 日本産海洋プランクトン検索図説, 東海大学出版会. pp. 1574.