

제주 바다목장 해역 크기별 엽록소 *a*의 시·공간적 분포 특성과 미소플랑크톤의 중요성

윤양호*

¹전남대학교 해양기술학부

Spatio-temporal Variability and Size Fractionation of Chlorophyll *a* in the Jeju Marine Ranching Area(JMRA) with Special Reference to the Signification of Nanoplankton

Yang Ho Yoon*

¹Faculty of Marine Technology, Chonnam National University

요약 제주 바다목장 해역의 크기별 식물플랑크톤 조성비 및 물질순환 특성을 파악하기 위해 2008년 4월에서 11월까지 4회 현장조사를 하였다. 제주 바다목장 해역의 표층에서 초미세플랑크톤은 0.03 ~ 0.84 $\mu\text{g/L}$ 에서 평균 0.30 $\mu\text{g/L}$ 로 17.3%, 미소플랑크톤은 0.22 ~ 3.93 $\mu\text{g/L}$ 에서 평균 1.35 $\mu\text{g/L}$ 로 78.0%, 소형플랑크톤은 nd ~ 0.24 $\mu\text{g/L}$ 에서 평균 1.73 $\mu\text{g/L}$ 로 4.7%를 차지하였다. 10m 수층도 측정값에서 다소 차이는 있지만 경향은 표층과 매우 유사하여, 계절에 따라 엽록소 *a*의 측정값은 변화하지만, 미소플랑크톤 조성비는 연중 높게 나타났다. 또한 제주 바다목장 해역의 크기별 엽록소 *a*의 분포는 지리적으로 인접한 우리나라 연안해역이나, 쿠로시오나 쓰시마난류의 영향을 받는 동중국해 및 일본연안보다도 계절풍 이후의 열대해역 연안환경과 유사한 것으로 나타났다. 즉 제주 바다목장 해역의 물질순환은 전통적인 먹이사슬보다는 저차영양단계는 미세먹이망으로 구성되어, 기초생산은 영양염류 공급보다 미소동물플랑크톤의 포식압 등의 top-down 동태에 의해 조절될 가능성이 큰 것으로 판단되었다.

Abstract To understand size fractionated chlorophyll *a* and material cycle characteristics in Jeju marine ranching area (JMRA), 4 times of survey were conducted from April to November 2008. Picoplankton on the surface in JMRA was on average, 0.30 $\mu\text{g/L}$ (annual mean(M):17.3%) in the 0.03 ~ 0.84 $\mu\text{g/L}$ range, accounting for 17.3%. Nannoplankton and picoplankton was on average, 1.35 $\mu\text{g/L}$ (M:78.0%) in the 0.22 ~ 3.93 $\mu\text{g/L}$ range, and 1.73 $\mu\text{g/L}$ (M:4.7%) in the nd ~ 0.24 range, respectively. The 10m layer was similar to the surface. The measured values changed according to the measurement times but the nanoplankton composition ratio was higher throughout the year. In addition, the size fractionated chlorophyll *a* distribution in JMRA was similar to that of tropical sea area affected by the Monsoon rather than South Korean offshore coast geographically adjacent to the East China Sea and Japan coastal waters affected by the Kuroshio/Tsushima warm currents. That is, the material cycle of JMRA consists of a microbial food web rather than traditional food chain at a lower trophic levels. Primary production is deemed to have a higher possibility of being adjusted by top-down dynamics, such as micro-zooplankton grazing pressure rather than nutrients supply.

Key Words : chlorophyll *a*, spatio-temporal variation, size fractionation, nanoplankton, top-down dynamics, Jeju marine ranching area

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

*Corresponding Author : Yang Ho Yoon(Chonnam National Univ.)

Tel: +82-10-6644-1229 email: yoonyh@jnu.ac.kr

Received June 19, 2014

Revised September 30, 2014

Accepted October 10, 2014

1. 서론

수권생태계에서 식물플랑크톤 군집은 광합성으로 에너지를 합성하여 상위 영양단계의 소비자에게 에너지를 공급하는 1차생산자로 해양의 탄소순환 등 물질순환에 중요한 역할을 수행한다[1,2]. 그리고 식물플랑크톤 성장의 조절인자는 무기 영양염류의 공급(bottom-up)이나 동물플랑크톤 포식압(top-down)은 물론, 빛, 해수유동 등 다 양한 해양환경 인자에 의해 지배되며[3-6], 특히 하구해역의 식물플랑크톤 크기 구조는 담수의 유입[7] 등 비생물학적 환경인자와 군집의 종조성[8], 세포의 분열속도[9] 등 생물의 생리적인 인자[10]에 의한 다양한 생물학적 과정에 의해 지배된다[11,12].

즉 식물플랑크톤 크기구조는 표영생태계의 해양환경 조건[13]과 먹이사슬 등 탄소순환 경로에 도 중요하여 [14], 비교적 크기가 큰 소형식물플랑크톤은 전통적인 해양생태계의 먹이사슬에 관여하며, 크기가 작은 미소플랑크톤은 미세먹이망에서 복잡한 저차영양단계를 구성한다. 일반적으로 소형플랑크톤은 무기영양염류 공급에 의한 bottom-up 방식에 의해 조절되지만[15], 미소플랑크톤은 미소 동물플랑크톤의 포식압에 의한 top-down 방식에 의해 조절되는 것[16,17]이 알려져 있다.

연안해역의 바다목장은 해역의 생산성과 자원조성에 따른 경제성을 높이기 위해서 특정해역의 해양환경과 생물의 군집구조를 개선하여 해역생태계를 자원육성에 바람직한 방향으로 변화시키고자 하는 것이다. 제주 바다목장해역은 제주도 서부해역인 한경면 연안의 23km² (2,300ha) 해역에 해중립 조성과 종묘방류에 의한 어장조성과 체험공원 설치 등 새로운 생태계를 조성을 목적으로 체험·관광형 바다목장 해역으로 개발하는 사업이다. 제주 바다목장 해역은 암반이 발달하였고, 기후는 온난한 아열대해역 특징 및 소규모 용승 등으로 다양한 수산생물이 출현한다. 또한 조류도 원활하여, 외해와 해수교환이 활발하게 이루어지는 해역이기도 하다. 지금까지 제주 바다목장 해역을 대상으로 수행된 학술연구는 대부분 바다목장이 지정된 다음 연구된 것으로 어류를 포함한 자원생물의 동태 및 음향을 이용한 구집과 순치, 경제적 평가 등에 관련한 연구가 대부분이다[18-24], 기타로는 해수의 이화학적 특성[25], 식물플랑크톤 군집에 관련된 연구[26] 및 외국기인에 의한 쓰레기 관련 연구[27]가 있지만, 해양생태계 및 어장 기초 환경 파악을 위한 조사는

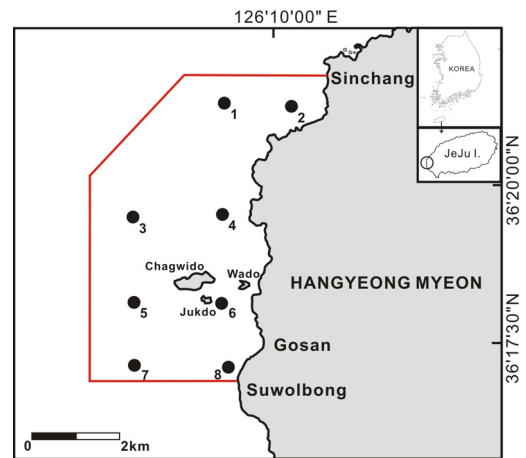
매우 빈약하다.

따라서 이 연구는 제주 바다목장 주변해역의 크기별 식물플랑크톤 구성비, 해역의 저차영양구조 및 물질순환 구조 등의 특성을 고찰하여 바다목장 해역의 효율적 관리와 생산증대에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

제주 바다목장 해역에서 크기별 식물플랑크톤 조성과 해양생태계의 기초를 파악하기 위한 현장조사는 바다목장 주변의 8개 정점을 대상으로 2008년 4월, 6월, 9월, 11월, 총 4회 조사를 실시하였다[Fig. 1]. 계절적으로 겨울 현장조사는 실시되지 못하였다.

현장조사는 용선한 소형선박으로 각 정점의 표층과 10m 수층의 해수를 3L 용량의 반돈 채수기로 채수하였다. 표본은 실험실에서 공경이 0.2 μ m, 3.0 μ m의 박막여과기(\varnothing 47mm)와 망목이 20 μ m인 플랑크톤 네트지가 각각 장착된 플라스틱 여과기(Sartorius, Germany)를 중첩으로 설치하여 1L의 해수 표본을 진공 여과시켜 엽록소 *a*의 분석시료로 하였다. 포집된 여과지는 90%(v/v) 아세톤 용액을 용매로 색소를 충분히 추출시킨 다음, 원심분리기로 불순물을 분리(3,000rpm, 15min.)하여, 상등액을 UV 분광광도계(Mecasys Co Ltd., Optizen 2120UV)로 비색 측정하여, 경험식으로 색소량을 계산하였다[28]. 분석은 초미세플랑크톤(picoplankton, 0.2~3.0 μ m), 미소플랑크톤(nanoplankton, 3.0~20.0 μ m)와 소형 또는 네트플



[Fig. 1] Map show to sampling stations in the JMRA.

랑크톤(microplankton or net plankton, >20.0 μ m) 등 3가지 크기로 구분하였다.

3. 결과

3.1 크기별 생물량의 경시변화

제주 바다목장 해역의 전체 엽록소 *a* 변화는 봄 4월 표층에서 1.54 ~ 3.42 μ g/L, 10m 수층에서 1.58 ~ 2.10 μ g/L의 변화 범위로 표층이 다소 높았다. 크기별로는 표층의 미소플랑크톤이 1.12 ~ 2.83 μ g/L로 전체 엽록소 *a*에 대해 정점 평균 70.3%를 차지하였고, 초미세플랑크톤은 0.29 ~ 0.84 μ g/L로 26.4%, 소형플랑크톤은 0 ~ 0.19 μ g/L로 3.3%를 점유하였다. 10m 수층도 표층과 유사하여 미소플랑크톤이 1.00 ~ 1.52 μ g/L로 68.3%, 초미세플랑크톤은 0.22 ~ 0.51 μ g/L로 21.7%, 소형플랑크톤은 0 ~ 0.51 μ g/L로 10.0%를 차지하였다(Table 1).

초여름 6월 표층의 전체 엽록소 *a*는 2.05 ~ 4.25 μ g/L, 10m 수층은 1.24 ~ 2.66 μ g/L로 변화하여 4월과 같이 표층이 10m보다 높았다. 크기별로는 표층의 미소플랑크톤이 1.78 ~ 3.93 μ g/L로 평균 87.7%, 초미세플랑크톤은 0.27 ~ 0.59 μ g/L로 11.4%, 소형플랑크톤은 0 ~ 0.24 μ g/L로 0.9%를 차지하였다. 10m 수층도 표층과 유사하여

미소플랑크톤이 1.04 ~ 2.28 μ g/L로 82.0%, 초미세플랑크톤은 0.20 ~ 0.50 μ g/L로 10.3%, 소형플랑크톤은 0 ~ 0.16 μ g/L로 10.0%를 차지하였다(Table 1).

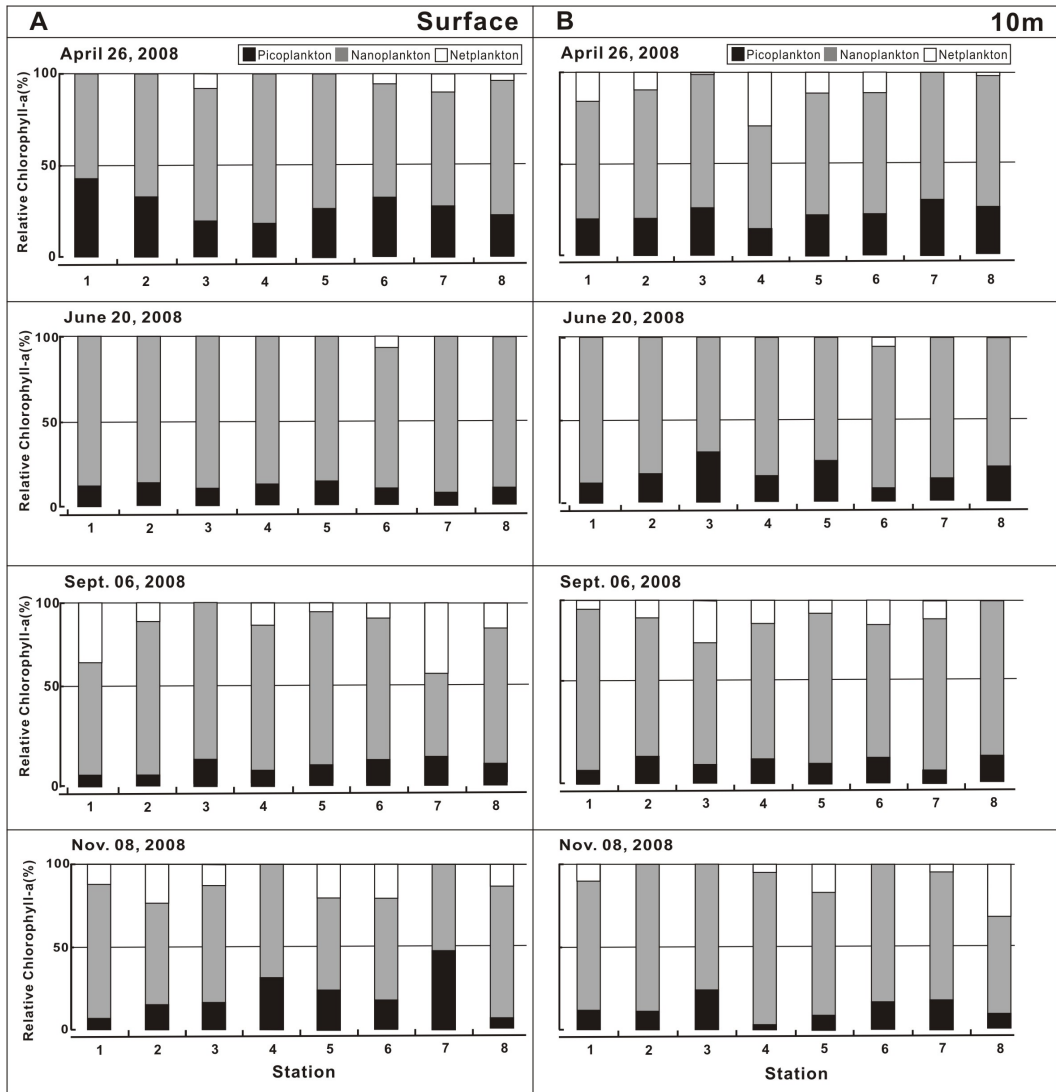
초가을 9월 표층의 전체 엽록소 *a*는 0.43 ~ 0.66 μ g/L, 10m 수층은 0.33 ~ 0.62 μ g/L로 초여름 6월의 1/4 수준이었다. 크기별은 표층의 미소플랑크톤이 0.22 ~ 0.53 μ g/L로 평균 74.1%, 소형플랑크톤은 0~0.20 μ g/L로 14.8%, 초미세플랑크톤은 0.03 ~ 0.08 μ g/L로 11.1%로 소형플랑크톤이 초미세플랑크톤보다 다소 높았다. 10m 수층은 표층과 유사하여 미소플랑크톤이 0.24 ~ 0.53 μ g/L로 77.6%, 초미세플랑크톤은 0.03 ~ 0.10 μ g/L로 12.2%, 소형플랑크톤이 0 ~ 0.10 μ g/L로 10.2%를 차지하였다 (Table 1).

늦가을 11월 표층은 총 엽록소 *a* 농도가 0.75 ~ 1.02 μ g/L, 10m 수층은 0.59 ~ 1.46 μ g/L의 범위로 6월의 1/5 수준이었다. 크기별은 표층 미소플랑크톤이 0.44 ~ 0.80 μ g/L로 평균 66.7%, 초미세플랑크톤은 0.05 ~ 0.39 μ g/L로 20.0%, 소형플랑크톤은 0 ~ 0.23 μ g/L로 16.7%를 차지하였다. 10m는 표층과 유사하여 미소플랑크톤이 0.54 ~ 0.85 μ g/L로 76.9%, 초미세플랑크톤은 0.01 ~ 0.22 μ g/L로 12.1%, 소형플랑크톤이 0 ~ 0.48 μ g/L로 11.0%를 차지하였다[Table 1].

[Table 1] Temporal variation of size-fractionated Chlorophyll *a* biomass at surface and 10m layer

		Chlorophyll <i>a</i> (μ g/L)							
		Surface				10m layer			
		Minimum	Mean	Maximum	SD	Minimum	Mean	Maximum	SD
April 19 2008	Picop.	0.29	0.56	0.84	0.16	0.22	0.39	0.51	0.10
	Nanop.	1.12	1.49	2.83	0.59	1.00	1.23	1.52	0.16
	Net P.	0	0.07	0.19	0.08	0	0.18	0.51	0.17
	Total	1.54	2.12	3.42	0.60	1.58	1.80	2.10	0.19
June 23 2008	Picop.	0.27	0.38	0.59	0.10	0.20	0.33	0.50	0.11
	Nanop.	1.78	2.91	3.93	0.67	1.04	1.59	2.28	0.46
	Net P.	0	0.03	0.24	0.08	0	0.02	0.16	0.06
	Total	2.05	3.32	4.25	0.71	1.24	1.94	2.66	0.46
Sept. 02 2008	Picop.	0.03	0.06	0.08	0.02	0.03	0.06	0.10	0.02
	Nanop.	0.22	0.40	0.53	0.09	0.24	0.38	0.53	0.09
	Net P.	0	0.08	0.20	0.07	0	0.05	0.10	0.03
	Total	0.43	0.54	0.66	0.08	0.33	0.49	0.62	0.10
Nov. 01 2008	Picop.	0.05	0.18	0.39	0.11	0.01	0.11	0.22	0.06
	Nanop.	0.44	0.60	0.80	0.11	0.54	0.70	0.85	0.08
	Net P.	0	0.12	0.23	0.09	0	0.10	0.48	0.16
	Total	0.75	0.90	1.02	0.11	0.59	0.91	1.46	0.25

SD: standard deviation, Picop.: picoplankton, Nanop.: nanoplankton, Net P.: net/micro-plankton



[Fig. 2] Spatio-temporal variations of relative ratio for chlorophyll *a* at surface and 10m layers.

3.2 크기별 엽록소 *a*의 상대 조성비

제주 바다목장 해역의 크기별 엽록소 *a*의 상대비 변화는 봄 4월 표층에서 미소플랑크톤에 의한 점유율이 57.9 ~ 82.5% 범위로 69.3 ± 8.1%, 초미세플랑크톤이 17.5 ~ 42.1% 범위로 27.1 ± 8.1%, 소형플랑크톤이 nd ~ 10.2%의 범위로 3.6 ± 4.2%의 변화를 보였다. 10m 수심은 미소플랑크톤이 57.8 ~ 73.3% 범위로 68.3 ± 5.2%, 초미세플랑크톤이 12.6 ~ 28.7% 범위로 21.6 ± 4.8%, 소형플랑크톤이 nd ~ 29.6%의 범위로 10.0 ± 9.6%의 변화로 표층과 유사하였다[Fig. 2].

초여름 6월 표층은 미소플랑크톤이 82.9 ~ 92.5% 범위로 87.5 ± 2.9%, 초미세플랑크톤이 7.5 ~ 14.3% 범위로 11.5 ± 2.4%, 소형플랑크톤이 nd ~ 7.4%의 범위로 0.9 ± 2.6%의 변화를 보여, 미소플랑크톤 점유율이 높았다. 10m 수심은 미소플랑크톤이 69.9 ~ 88.0% 범위로 81.1 ± 6.4%, 초미세플랑크톤이 8.3 ~ 30.1% 범위로 17.9 ± 7.2%, 소형플랑크톤이 nd ~ 6.0%의 범위로 1.0 ± 2.1%로 표층과 유사하였다[Fig. 2].

가을 9월 표층은 미소플랑크톤이 44.0 ~ 85.5% 범위로 73.7 ± 14.2%, 소형플랑크톤이 nd ~ 39.4% 범위로

15.3 ± 13.7%, 초미세플랑크톤이 5.3 ~ 16.6%의 범위로 11.0 ± 4.1%를 보여 유일하게 소형플랑크톤이 초미세플랑크톤보다 높은 점유율을 보였다. 10m 수층은 미소플랑크톤이 66.8 ~ 87.2% 범위로 77.3 ± 7.4%, 초미세플랑크톤이 7.6 ~ 15.4% 범위로 12.3 ± 3.1%, 소형플랑크톤이 nd ~ 22.2%의 범위로 10.4 ± 6.7%로 표층과는 달리 초미세플랑크톤이 소형플랑크톤 보다 점유율이 높았다 [Fig. 2].

늦가을 11월 표층은 미소플랑크톤이 52.9 ~ 81.2% 범위에서 67.0 ± 10.3%, 초미세플랑크톤이 6.8 ~ 47.1% 범위로 20.4 ± 13.5%, 소형플랑크톤이 nd ~ 23.0%의 범위로 12.6 ± 8.8%의 변화를 보였다. 10m 수층은 미소플랑크톤이 58.0 ~ 92.3% 범위로 78.8 ± 10.4%, 초미세플랑크톤이 2.3 ~ 23.4% 범위로 12.4 ± 6.4%, 소형플랑크톤이 nd ~ 33.0%의 범위로 8.8 ± 11.3%로 변화하였다 [Fig. 2].

4회 조사 평균으로는 제주 바다목장 해역의 표층 초미세플랑크톤은 0.03 ~ 0.84 µg/L 범위에서 평균 0.30 µg/L로 17.3%를 점유하였고, 미소플랑크톤은 0.22 ~ 3.93 µg/L 범위에서 평균 1.35 µg/L로 78.0%, 소형플랑크톤은 nd ~ 0.24 µg/L 범위에서 평균 1.73 µg/L로 4.7% 점유율을 나타내었다. 10m 수층은 초미세플랑크톤은 0.01 ~ 0.51 µg/L 범위에서 평균 0.22 µg/L로 17.0%를 점유하였고, 미소플랑크톤은 0.24 ~ 2.28 µg/L 범위에서 평균 0.98 µg/L로 76.0%, 소형플랑크톤은 nd ~ 0.51 범위에서 평균 0.09 µg/L로 7.0% 점유율을 나타내어, 연간 미소플랑크톤이 매우 높은 특성을 보였다.

3.3 경시적 엽록소 a의 변화

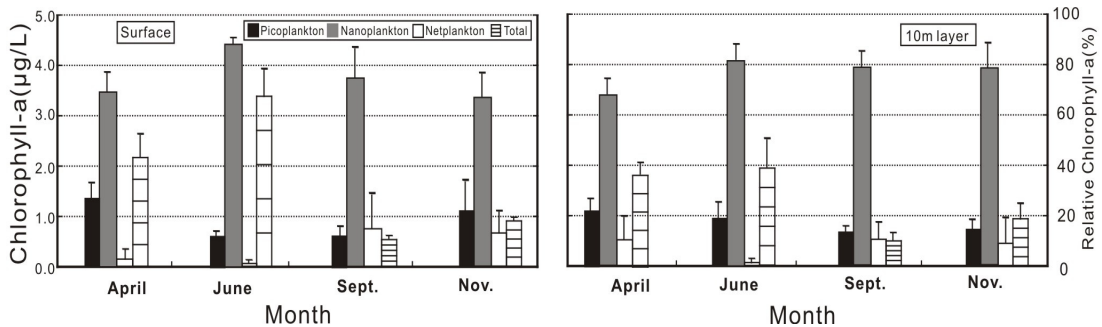
전체 및 크기별 엽록소 a의 경시적 변화를 보면 전체 엽록소 a는 수층에 관계없이 수온 상승기인 4월과 6월에

높은 농도를 보이는 반면, 수온 하강기인 9월과 11월에는 6월의 1/4~1/5 수준의 농도를 나타내었다(Fig. 3에서 측정값으로 표현). 그림에서 상대 조성비로 표현하고 있는 크기별은 표층에서 6월에 80% 이상으로 높고, 나머지 시기는 70% 전후로 유사하였다. 초미세플랑크톤은 봄과 가을에 상대적으로 높았고, 소형플랑크톤은 수온 하강기 낮은 생물량을 보이는 시기에 상대적 높은 조성비를 보였다. 10m 수층의 미소플랑크톤은 4월 70% 전후 값을 보이지만, 나머지 시기에는 80% 전후의 높은 조성비를 나타내었다. 초미세플랑크톤은 4월에 높은 조성비를 보인 이후 점차 감소하는 양상을 보이거나, 소형플랑크톤에서는 일정한 변동 양상이 발견되지 않았다 [Fig. 3].

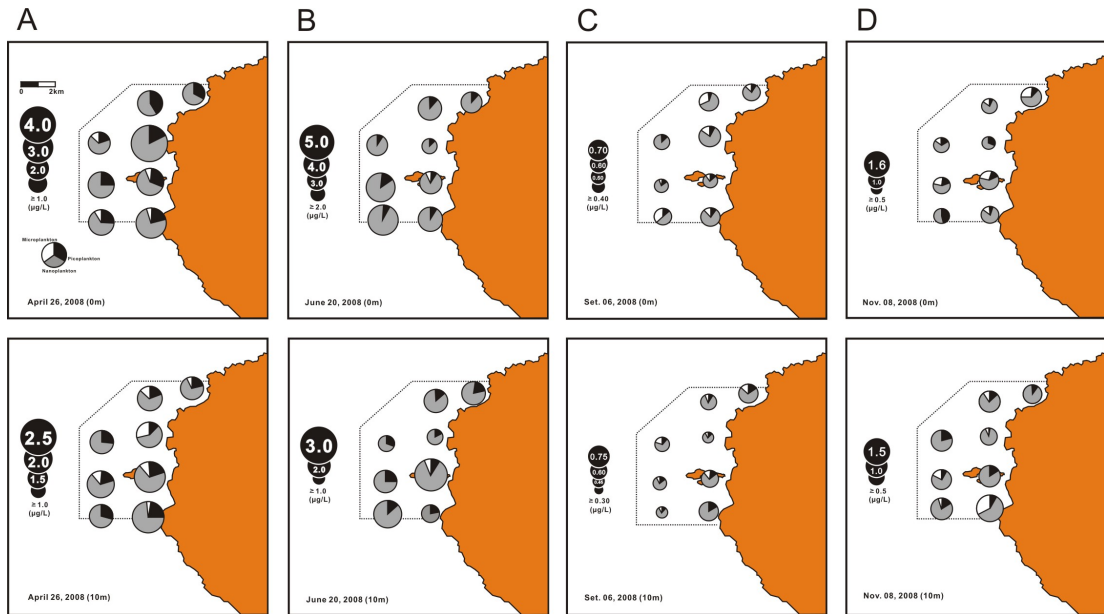
제주 바다목장해역의 전체 및 크기별 엽록소 a의 변동 양상은 수온상승기에 높고, 수온하강기에 낮은 경시적인 큰 차이를 보였지만, 크기별 플랑크톤에서 미소플랑크톤의 조성비는 연중 높은 값으로 균일한 특성을 나타내었다.

3.4 공간분포

공간적으로는 4월 봄 표층의 전체 엽록소 a 및 미소플랑크톤은 연안 정점에서 다소 높았고, 크기별로는 연안의 일부정점에서 초미세플랑크톤 점유율이 다소 높게 나타나는 것을 제외하면, 전체적으로 미소플랑크톤에 의한 점유율이 높았다. 10m 수층의 전체 엽록소 a와 미소플랑크톤은 바다목장 남부연안에서 다소 높고, 북쪽으로 갈수록 낮아지는 양상을 보였다. 크기별로는 목장해역 북부의 일부 연안 정점에서 소형플랑크톤에 의한 점유율이 다소 높은 것으로 제외하면 표층과 같이 미소플랑크톤에 의해 점유되었다 [Fig. 4A]. 6월 초여름의 전체 엽록소 a와 미소플랑크톤은 남부해역에서 높고, 북부 연안에서 상대적으로 낮았다. 이른 여름은 특히 미소플랑크톤에



[Fig. 3] Temporal variations of size fractionated chlorophyll a at surface and 10m layer. (total chlorophyll a; measured value, size fractionation: relative ratio, bar: standard deviation)



[Fig. 4] Spatio-temporal distributions of size fractionated chlorophyll *a* at surface and 10m layer.

의한 점유율이 높았다. 10m 수층에서도 전체 엽록소 *a*와 미소플랑크톤은 차귀도의 인접정점과 남부의 외곽 및 일부 연안정점에서 상대적으로 높았으나, 표층과 같이 중앙부 연안정점에서 상대적으로 낮았다. 크기별로는 대부분 미소플랑크톤에 의해 점유되지만, 차귀도 및 북부의 일부 정점에서 소형플랑크톤과 초미세플랑크톤에 의한 점유율이 낮았다[Fig. 4B]. 9월 가을의 표층 전체 엽록소 *a*와 미소플랑크톤은 북부 해역에서 다소 높고, 점차 남쪽으로 진행할수록 낮았다. 크기별로는 다른 계절과 같이 미소플랑크톤에 의해 점유율이 높았으나, 해역의 북부 및 남부에서 소형플랑크톤에 의한 점유비가 상대적으로 높았다. 10m 수층은 표층에 비해 상대적으로 낮은 엽록소 *a*이지만, 전체 엽록소 *a*와 미소플랑크톤은 북부 및 남부의 연안 정점에서 상대적으로 높고, 외곽 정점군에서 상대적으로 낮았다. 크기별로는 미소플랑크톤에 의한 점유비가 높았지만, 차귀도 및 북부 및 외곽의 일부 정점에서 소형플랑크톤 및 초미세플랑크톤에 의한 점유비가 높았다[Fig. 4C]. 11월 늦가을 표층의 전체 엽록소 *a*와 미소플랑크톤은 북부 연안과 남부 차귀도 해역에서 다소 높고, 외곽 및 중앙부 연안 해역에서 낮았다. 크기별로는 미소플랑크톤에 의해 점유율이 높았고, 북부와 남부의 차귀도 해역에서 소형플랑크톤에 의한 점유비가 상대적으로 높았다. 10m 수층의 전체 엽록소 *a*와 미소플랑크톤은

중앙부 연안 정점을 제외하면 전 해역에서 비교적 균일하였다. 크기별로는 미소플랑크톤에 의한 점유가 높았고, 남부해역에서 소형플랑크톤 및 초미세플랑크톤에 의한 점유비가 상대적으로 높았다[Fig. 4D].

4. 고찰

엽록소는 측정하는 방법이 다양하기에 측정된 절대값으로 단순 비교하기는 쉽지 않다. 때문에 여기에서는 크기별 엽록소의 상대비로서 비교하였다. 다. 또한 크기별 식물플랑크톤 구분에는 시판되는 여과지의 공경이나 연구자의 목적에 따라 매우 다양하기에 방법에서 표현한 초미세플랑크톤, 미소플랑크톤 및 소형 또는 네트플랑크톤 3가지 유형으로 정리하여 비교하였다.

지금까지 국내 및 세계 주요 해역에서 크기별 분획에 의한 엽록소 *a* 측정값의 변화를 Table 2에 정리하였다. 국내의 경우 개방적 특성에 단조로운 해안선의 특징을 가지는 동해 중북부의 신포(북한), 울진, 축산 및 울산 연안은 미소플랑크톤 + 초미세플랑크톤을 더한 것보다 소형플랑크톤 상대비가 높거나 유사하여, 소형플랑크톤 조성비가 높은 특성을 나타내었다[29-32]. 특히 북한 신포 연안은 5월 봄을 제외하면 전 계절 소형플랑크톤 비율이

훨씬 높았고[31], 울산은 가을 미소플랑크톤이 60% 이상으로 우점한 것을 제외하면, 모든 계절에 소형플랑크톤이 평균 52.3%로 높았다[33]. 반면 동해 남부의 고리 연안은 겨울 초미세플랑크톤 상대비가 가장 높게 나타났으며[33], 동해 남부의 개방해역에서 표층의 미소플랑크톤이 대부분 정점에서 80% 이상의 조성비를 보이나, 초미세플랑크톤 조성비도 29.3%로 비교적 높고, 특히 유광층 하부수층은 40% 이상을 차지하였다[34]. 갯벌이 발달하고 육수유입의 비교적 좋은 서해의 경우, 부영양화가 진행된 인천도크와 천수만은 20 μ m 이하의 미소플랑크톤 조성비가 각각 32.5 ~ 96.8%의 변동 범위에서 평균 73.2%[35]와 19 ~ 93%의 범위에서 64%를 나타내었다[8]. 그러나 경기만은 미소플랑크톤 47.3%, 소형플랑크톤 33.0% 및 초미세플랑크톤 19.7%로 20 μ m 이하의 미소플랑크톤은 천수만과 67.0%로 유사하였지만[36], 영산강

및 아산호 하구해역은 담수 배출에 따라 차이가 있으나 소형플랑크톤이 70% 이상 점유하는 것으로 보고되었다[7,37]. 제주 남부해안의 중문연안은 미소플랑크톤 조성비가 높은 것은 바다목장 해역과 유사하지만, 초미세와 소형 플랑크톤의 조성비는 목장 해역과 반대로 소형플랑크톤 조성비[38]가 높았다[Table 2].

국외의 경우 쿠로시오 영향을 받는 서일본 해역의 패류양식장은 초미세와 미소플랑크톤이 각각 40.2%와 33.0%로 초미세플랑크톤이 높았다[39]. 부영양화된 중국 산둥반도 인근의 염호는 88%가 미소플랑크톤이며, 나머지 4%와 8%만이 초미세 및 소형플랑크톤으로 보고되었다[40]. 지중해 내부의 부영양화 해역은 초미세, 미소 및 소형플랑크톤이 55%, 23%, 22%를 나타내었으며[41], 인도양 열대해역의 하구해역에서 계절풍이 끝난 다음에 하구에서 떨어진 연안 해역은 초미세, 미소 및 소형플랑크

[Table 2] Size fractionation of phytoplankton observed in the different coastal waters of Korea and global ocean areas

Study conditions		Range of Chl- <i>a</i> (μ g/L)	Relative ratio (%)			References	
Area	Period/Times		Picoplankton	Nanoplankton	Net Plankton		
Jeju marine ranching area	2011/4	1.54 - 3.42	5.3 - 42.1 (17.3)	44.0 - 92.5 (78.0)	nd - 39.4 (4.7)	this study	
Shinpo coast, North Korea	2001-2002/4	0.22 - 7.87	14.2 - 77.8		22.8 - 88.6	[31]	
Uljin coast	2003-2004/4	0.52 - 2.26	16.4 - 57.5 (33.9)		42.5 - 83.6 (66.1)	[29]	
Chuksan coast	2000-2002/11	0.78 - 3.29	35.1 - 76.6 (58.4)		23.4 - 64.9 (41.6)	[30]	
Ulsan port and coast	2007-2009/12	0.36 - 7.11	22.4 - 38.2	58.2 - 74.5	3.9 - 81.2 (52.3)	[32]	
Gori coast	1988-9/4 (winter)	1.89 - 12.68	15.7 - 83.2	4.6 - 66.0	0.1 - 45.9	[33]	
Southern area of East Sea	1988-1990/spring and summer	0.5 - 14.9	22.2 - 99.1 over 80 at most stations		-	[34]	
Incheon dock	2002/12	2.1 - 20.1 (7.3)	32.5 - 96.8 (73.2)			[35]	
Kyeonggi Bay	1997-1998/12		19.7	47.3	33.0	[36]	
Cheonsu Bay	1985-1986/9	0.91 - 14.93	19 - 93 (64)			[8]	
Yeongsan estuarine	2007-2009/12				>70	[7]	
Southern coast of Jeju Island	1999-2000/12	mean (3.02)	6.0	82.7	11.3	[38]	
Pearl culture area, western Japan	1997-1999/10	0.5 - 4.4	38.1 - 51.4 (40.2)	33.0	26.8	[39]	
Eutrophic saline lake in China	summer/22	<129.4	4	88	8	[40]	
Inner parts of Mediterranean	2007-2008/12	4.93 - 30.26	55	23	22	[41]	
Tropical area in Indian Ocean	summer 2006	estuarine	13.7±8	8.5	85.1	6.5	[42]
		coastal waters	5.3±1.8	15.6	73.2	11.2	
Arctic area	2003/summer	0.18-1.05 (0.4)	89.1		10.9	[43]	

Values in () was indicated mean

톤이 각각 15.6%, 73.2% 및 6.5%의 조성비로[42], 제주 바다목장의 결과와 가장 유사하였다. 북극해의 여름은 20 μ m 이하의 미소플랑크톤이 89.1%, 소형플랑크톤이 10.9%의 조성비[43]를 보였다[Table 2].

이외에도 매우 다양한 크기별 분획에 의한 식물 플랑크톤 연구결과가 있으며, 태평양 등 대양의 빈영양수괴는 초미세플랑크톤의 중요성이 매우 높은 것으로 알려지지만[44-46], 부영양화가 상당히 진행된 일본 오사카만도 10 μ m 이하의 미소플랑크톤 조성비가 45 ~ 97%[47], 겨울과 봄 동중국해 양자강 하구해역도 20 μ m 이하의 미소플랑크톤 조성비가 66.7%[48]로 미소플랑크톤 조성비가 높았다. 또한 온대에서 한 대 개방해역인 호주의 45°S에서 67°S까지 여름 표층해수에서 3 μ m 이하의 초미세플랑크톤은 온대해역은 평균 23%, 한대해역은 16~19%의 조성비[49]를 보이기도 하였고, 일본 북해도 남부의 분카만은 2 μ m 이하의 초미세플랑크톤 조성비가 연간 40 ~ 70%로 연평균 60%[50], 여름 친조해역의 유광층(>표층 광량의 10%)에서 초미세플랑크톤이 48 ± 14%, 2 ~ 10 μ m크기가 41 ± 11%, 10 μ m 이상은 11 ± 13%[51], 영국 연안해역의 봄에서 가을까지 3 μ m 이하의 초미세플랑크톤 조성비는 3.6 ~ 27.7%로 연평균 16.3%[52], 열대 오만 연안은 5 μ m 이하 초미세플랑크톤은 34.7 ~ 94.4%로 연평균 73.5%를 나타내는 등[53] 식물플랑크톤 군집에서 미소플랑크톤의 중요성을 나타내는 결과가 많다. 반면 지중해의 터키 연안에서 연평균으로 20 μ m 이하의 미소플랑크톤 조성비는 9%이하로 소형플랑크톤이 우점하는 보고도 있다[54].

이와 같은 해역에서 크기별 엽록소 *a*의 조성비는 조사 해역과 시기, 조사 횟수에 따라 크게 다른 결과를 나타낸다. 국내에서도 2010년과 2011년 11월 동일시기에 광양만 조사에서 미소플랑크톤 조성비는 유사하지만, 2010년은 소형플랑크톤 비율이 가장 높았지만, 2011년은 초미세플랑크톤 비율이 가장 높게 보고하였다[55]. 즉 식물플랑크톤의 크기별 조성은 조사시점의 식물플랑크톤 종조성 및 우점종, 영양조건 등의 비생물학적 해양환경 조건들과 복잡하게 관계된다[13]. 대상 해역의 해양환경 및 생물해양학 과정에 따라 크게 변화하는 것으로 판단할 수 있다[11,12].

결론적으로 제주 바다목장 해역의 크기별 엽록소 *a*는 총 엽록소 *a*농도의 높고, 낮음에 관계없이 연중 미소플랑크톤에 의한 조성비가 높았다. 또한 시공간적 변동은 지리적으로 가까운 우리나라 연안해역이나, 쿠로시오나 쓰

시마난류의 영향을 받으면서 담수유입이 원활한 동중국해 및 일본연안보다도 계절풍이 끝난 다음에 영양염류 유입이 없는 열대해역 연안환경과 유사하게 나타났다. 즉 제주 바다목장 해역, 제주도 서부해역의 저차영양단계에서의 물질순환은 전통적인 먹이사슬 구조보다 미세 먹이망에 의한 복잡한 구조를 나타내어[14], 기초생산은 영양염공급보다도 미소동물플랑크톤의 포식압에 의해 조절되는 것[16,17]으로 판단되었다. 때문에 효율적 해역 관리 및 바다목장의 활용을 위해서는 식물플랑크톤 군집을 조절하는 포식자의 keystone 종 파악 등이 시급하게 이루어져야 할 것으로 보아졌다.

References

- [1] U. Riebesell, "Effects of CO₂ enrichment on marine phytoplankton", *J. Oceanogr.*, 60, 719-729, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10872-004-5764-z>
- [2] J. H. Street and A. Paytan, Iron, phytoplankton growth, and the carbon cycle", *Met Ions Biol Syst.*, 43, 153-193, 2005.
- [3] D. Tilman, S. S. Kilham and P. Kilham, "Phytoplankton Community Ecology: The Role of Limiting Nutrients," *Annual Rev. Ecol., Evol. System.*, 13, 349-372. 1982.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.es.13.110182.002025>
- [4] A. Mataxas and R.E. Scheibling, "Top-down and bottom-up regulation of phytoplankton assemblages in tidepools", *Mar Ecol Prog Ser.*, 145, 161-177, 1996.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3354/meps145161>
- [5] J. d. S. Severiano, A. d. N. Moura, E. M. d. M. Magalhães and V.L.d.S. Almeida, "Study about top-down and bottom-up controls in regulating the phytoplankton biomass in a eutrophic reservoir in northeastern Brazil", *J. Water Res. Prot.*, 4, 616-621, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2012.48071>
- [6] J. T. O. Kirk, *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems* (3rd eds). Cambridge Univ. Press, 662pp., 2011.
- [7] Y. Shin, H. Soh and B. Hyun, "Effect of salinity change on biological structure between primary producers and herbivores in water column", 「The Sea」 *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 10, 113-123, 2005. (in Korean)
- [8] Y. K. Shin, J. Y. Shim, J. S. Jo and Y. C. Park, "Relative significance of nanoplankton in Chonsu Bay: Species composition, abundance, chlorophyll and primary productivity", *J. Oceanol. Soc. Korea*, 25, 217-228, 1990.

- (in Korean)
- [9] H. Jr. Curl and G. C. Mcleod, "The physiological ecology of marine diatom, *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve", J. Mar. Res., 19, 70-88, 1961.
- [10] T. R. Parsons and M. Takahashi, "Environmental control of phytoplankton cell size", Limnol Oceanogr., 18, 511-515, 1973.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4319/lo.1973.18.4.0511>
- [11] R. A. Armstrong, "Grazing limitation and nutrient limitation in marine ecosystems: steady state solutions of an ecosystem model with multiple food chains", Limnol. Oceanogr., 39, 597-608, 1994.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4319/lo.1994.39.3.0597>
- [12] E. P. Y. Tang, "The allometry of algal growth rates", J. Plankton Res., 17, 1325-1335, 1995.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/plankt/17.6.1325>
- [13] T. C. Malone, "Algal size", In: Morris, I. (ed.) The Physiological Ecology of Phytoplankton, Blackwell Scientific Publications, London, pp. 433-465, 1980.
- [14] P. Cermenon, E. Maranon, V. Perez, P. Serret, E. Fernandez and C. G. Castr, "Phytoplankton size structure and primary production in highly dynamic coastal ecosystem (Ria de Vigo, NW-Spain): Seasonal and short-time scale variability", Est. Coast. Shelf Sci., 67, 251-266, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2005.11.027>
- [15] S. W. Chisholm, "Phytoplankton size". In: Falkowski, P.G., Woodhead, A.D. (Eds.), Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea. Plenum Press, New York, pp. 213-236, 1992.
DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4899-0762-2_12
- [16] R. Riegman, B. R. Kuipers, A. A. M. Noordeloos and H. J. Witte, "Size-differential control of phytoplankton and the structure of plankton communities", Neth. J. Sea Res, 31, 255-265, 1993.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0077-7579\(93\)90026-O](http://dx.doi.org/10.1016/0077-7579(93)90026-O)
- [17] R. Jyothibabu, N. V. Madhu, K. V. Jayalakshmi, K. K. Balachandran, C. A. Shiyas, G. D. Martin and K. K. C. Nair, "Impact of fresh water influx on microzooplankton mediated food web in a tropical estuary (Cochin backwaters-India)", Est. Coast. Shelf Sci., 69, 505-518, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2006.05.013>
- [18] S. H. Kim, C. H. Lee, D. O. Seo and Y. J. Kim, "A basic study on acoustic conditioning of fish suitable for a marine ranch 1. The sound sensitivity of Japanese parrot fish *Oplegnathus fasciatus*", J. Korean Fish. Soc., 35, 563-567, 2002. (in Korean)
- [19] M. H. Yang, T. S. Moon, J. T. Yu, J. C. Ko and D. S. Chang, "Species appearance and seasonal variation of macrobenthic invertebrate in the coastal water of Chagwi-do, Jeju-Island", Korean J. Malacol., 23, 235-243, 2007. (in Korean)
- [20] T. Y. Oh, H. K. Cha, D. S. Chang, C. H. Hwang, Y. J. Nam, S. N. Kwak and M. H. Son, "Seasonal variation and species composition of fishes communities in artificial reef unit at marine ranching area in the coastal waters off Jeju Island, Korea", J. Korean Soc. Fish. Tech., 46, 139-147, 2010. (in Korean).
DOI: <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2010.46.2.139>
- [21] J. B. Lee, T. Y. Oh, I. Yeon, B. Y. Kim, H. O. Shin, B. K. Hwang, K. H. Lee and Y. W. Lee, "Estimation of demersal fish biomass using hydroacoustic and catch data in the marine ranching area (MRA) of Jeju", J. Korean Soc. Fish. Tech., 48, 128-136, 2012. (in Korean)
DOI: <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2012.48.2.128>
- [22] S. K. Kang, "The estimation and economic evaluation of fisheries benefit in Jeju trial sea farm project", J. Fish. Bus. Adm., 44, 29-46, 2013. (in Korean)
DOI: <http://dx.doi.org/10.12939/FBA.2013.44.3.029>
- [23] C. I. Zhang, H. C. Kwon, Y. Kwon, and B. Y. Kim, "Age and growth of striped beakperch *Oplegnathus fasciatus* in the Jeju marine ranching area", Korean J. Ichith., 25, 25-32, 2013. (in Korean)
- [24] B. K. Hwang and H. Y. Jang, "Spatial characteristics of fish distribution lured by artificial reefs in Jeju marine ranching area", J. Korean Soc. Fish. Tech., 50, 30-38, 2014. (in Korean)
DOI: <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2014.50.1.030>
- [25] Y. C. Choi and J. S. Kim, "Distribution of physico-chemical characteristics on the development of marine ranching program in the Chagwi-Do coastal waters, Jeju Island", J. Korean Soc. Mar. Environ. Eng., 11, 105-112, 2008. (in Korean)
- [26] A. Affan, J. B. Lee, J. T. Kim, Y. C. Choi, J. M. Kim and J. G. Myoung, "Seasonal dynamics of phytoplankton and environmental factors around the Chagwi-do off the west coast of Jeju Island", Korea. Ocean Sci. J., 42, 117-127, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF03020879>
- [27] S. W. Jang, J. M. Park, Y. H. Chung, D. H. Kim and H. J. Yoon, "A study on the inflow and seasonal characteristics of foreign marine debris in the coastal area of the West Sea", J. Korean Soc. Mar. Environ. Eng., 15, 89-100, 2012. (in Korean)
DOI: <http://dx.doi.org/10.7846/JKOSMEE.2012.15.2.089>
- [28] SCOR-Unesco, "Determination of photosynthetic

- pigments". In Unesco(ed.), Determination of photosynthetic pigments in sea water. Paris, pp. 10-18, 1996.
- [29] H. C. Choi, Y. S. Kang and I. S. Jeon, "Phytoplankton community in adjacent waters of Ulchin nuclear power plant", Korean J. Environ. Biol., 22, 426-437, 2004.
- [30] Y. S. Kang, H. C. Choi, J. W. Lim, I. S. Jeon and J. H. Seo, "Dynamics of the phytoplankton community in the coastal waters of Chuksan harbor", East Sea, Algae, 20, 345-352, 2005. (in Korean)
- [31] Y. S. Kang, H. C. Choi, J. H. Noh, J. K. Choi and I. S. Jeon, "Seasonal variation of phytoplankton community structure in northeastern coastal waters off the Korean Peninsula", Algae, 21, 83-90, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4490/ALGAE.2006.21.1.083>
- [32] O. Y. Kwon and J. H. Kang, "Seasonal variation of physico-chemical factors and size-fractionated phytoplankton biomass at Ulsan seaport of East Sea in Korea", J. Korea Aca.-Indus. Coop. Soc., 14, 6008-6014, 2013. (in Korean)
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.11.6008>
- [33] J. H. Shim, H. G. Yeo and Y. K. Shin, "Ecological effect of thermal effluent in the Korean coastal waters I. Significance of autotrophic nano and picoplankton in adjacent waters of Kori nuclear power plant", J. Oceanol. Soc. Korea. 26, 77-82, 1991. (in Korean)
- [34] J. H. Shim, H. G. Yeo and J. G. Park, "Primary production system in the southern waters of the east Sea, Korea I. Biomass and productivity", J. Oceanol. Soc. Korea. 27, 91-100, 1992.
- [35] J. S. Yoo, "Productivity and abundance of bacteria and phytoplankton in Incheon Dock, western coast of Korea", J. Environ. Biol., 29, 531-534, 2008.
- [36] E. J. Yang. and J. K. Choi, "The study on the seasonal variation of microbial community in Kyeonggi bay, Korea. II. Nano- and microplankton", 「The Sea」 J. Korean Soc. Oceanogr., 8, 78-93, 2003. (in Korean)
- [37] B. Hyun, Y. Shin, C. Park, S. Yang, and Y. J. Lee, "Temporal and spatial variations of size-structured phytoplankton in the Asan Bay", Korean J. Environ. Biol., 24, 7-18, 2006. (in Korean)
- [38] B. Shynn and J. B. Lee, "Spatial and temporal distribution of picoplankton, nanoplankton and microplankton in Jungmun coastal waters of Jeju Island, Korea", 「The Sea」 J. Korean Soc. Oceanogr., 7, 78-86, 2002. (in Korean)
- [39] Y. Tomaru, N. Udaka, Z. Kawabata and S. Nakano, "Seasonal change of seston size distribution and phytoplankton composition in bivalve pearl oyster *Pinctada fucata martensii* culture farm", Hydrobiol., 481, 181-185, 2002.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1021232832390>
- [40] W. Zhao and S. L. Dong, "The contribution of size-fractionated plankton to biomass and primary production of phytoplankton in saline-alkaline ponds", Hydrobiol., 492, 181-190, 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1024863815392>
- [41] S. Kükreer and H. B. Büyükişik, "Size-fractionated phytoplankton and nutrient dynamics in the inner part of İzmir Bay, eastern Aegean Sea", Turkish J. Bot., 37, 177-187, 2013.
- [42] Madhu, N.V., Jyothibabu, R. and Balachandran, K.K., "Monsoon induced changes in the size fractionated phytoplankton biomass and production rate in the estuarine and coastal waters of southwest coast of India", Environ. Monit. Assess., 166, 521-528, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-009-1020-8>
- [43] H. M. Joo, J. H. Lee, K. H. Chung, J. S. Kang. and S. H. Kang, "Phytoplankton and environmental factors in the southeastern Barents Sea during August 2003", Ocean and Polar Res., 27, 265-276, 2005. (in Korean)
DOI: <http://dx.doi.org/10.4217/OPR.2005.27.3.265>
- [44] A. L. Bouteiller, J. Blanchot and M. Rodier, "Size distribution patterns of phytoplankton in the western Pacific: towards a generalization for the tropical open ocean", Deep-Sea Res., 39, 805-823, 1992.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0198-0149\(92\)90123-B](http://dx.doi.org/10.1016/0198-0149(92)90123-B)
- [45] E. Moreno-Ostos, A. Fernández, M. Huete-Ortega, B. Mouriño-Carballido, A. Calvo-díaz, K. A. G. Morán and E. Marañón, "Size-fractionated phytoplankton biomass and production in the tropical Atlantic", Sci. Mar., 75, 379-389, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3989/scimar.2011.75n2379>
- [46] D. Zhang, C. Wang, Z. Liu, X. Xu, X. Wang, and Y. Zhou, "Spatial and temporal variability and size fractionation of chlorophyll *a* in the tropical and subtropical Pacific Ocean", Acta Oceanol. Sinica, 31, 120-131, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s13131-012-0212-1>
- [47] M. Yamaguchi and I. Imai, "Size fractionated phytoplankton biomass and primary productivity in Osaka Bay, Eastern Seto Inland Sea, Japan", Bull. Nansei Nat'l Fish. Res. Inst. 29, 59-73, 1996.
- [48] S. Q. Song., J. Sun, Z. L. Shen, D. Wang and Q. S. Luan, "Size-fractionated biomass of phytoplankton in the Yangtze River estuary and its adjacent waters in winter and spring", Ying Yong Sheng Tai Xue Bao, 19, 658-666, 2008.

- [49] W. Ehnert and C. P. McRoy, "Phytoplankton biomass and size fractions in surface waters of the Australian sector of the southern ocean", *J. Oceanogr.*, 63, 179-187, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10872-007-0020-y>
- [50] Y. Maita and T. Odate, "Seasonal change in size-fractionated primary production and nutrient concentrations in the temperate neritic water of Funka Bay, Japan", *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 44, 268-279, 1988.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02302569>
- [51] A. Shiomoto and S. Hashimoto, "Size-fractionated chlorophyll *a* and primary productivity in the offshore Oyashio waters in July 1992", *La mer*, 39, 9-18, 2001.
- [52] A. Iriarte and D. A. Purdie, "Size distribution of chlorophyll *a* biomass and primary production in a temperate estuary (Southampton Water): the contribution of photosynthetic picoplankton", *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 115, 283-297, 1994.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3354/meps115283>
- [53] Al-Hashmi, K. A. Claereboudt, M. R. Al-Azri, Adnan, R. Piontovski and A. Sergey, "Seasonal changes of chlorophyll *a* and environmental characteristics in the Sea of Oman", *Open Oceanogr. J.*, 4, 107-114, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2174/1874252101004010107>
- [54] S. Polat and A. Aka, "Total and size fractionated phytoplankton biomass off Karataş, north-eastern Mediterranean coast of Turkey", *J. Black Sea/Mediterranean Environ.*, 13, 191-202, 2007.
- [55] S. W. Bae, D. Kim, Y. O. Kim, C. H. Moon and S. H. Baek, "The influences of additional nutrients on phytoplankton growth and horizontal phytoplankton community distribution during the autumn season in Gwangyang Bay", *Korea, Korean J. Environ. Biol.*, 32, 35-48, 2014. (in Korean)
DOI: <http://dx.doi.org/10.11626/KJEB.2014.32.1.035>

윤 양 호(Yang Ho Yoon)

[정회원]



- 1984년 3월 : Nagasaki대학 대학원 수산학연구과 (수산학석사)
- 1989년 3월 : Hiroshima대학 대학원 생물권과학연구과 (학술박사)
- 1990년 3월 ~ 2006년 2월 : 여수대학교 교수
- 2006년 3월 ~ 현재 : 전남대학교 교수

<관심분야>

식물플랑크톤 생리·생태, 연안환경생태, 미세조류의 산업이용, 수산환경