# 제주 바다목장 해역 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 변동 특성

윤양호<sup>1\*</sup> <sup>1</sup>전남대학교 해양기술학부

## Spatio-temporal Variability of Phytoplankton Community in the Jeju Marine Ranching Area (JMRA)

## Yang Ho Yoon<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Marine Technology, Chonnam National University

**요 약** 제주 바다목장 해역의 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포특성을 파악하기 위해 8개 정점의 표층과 10m 수심에 서 2008년 4월부터 11월까지 4회 현장조사를 실시하였다. 식물플랑크톤 출현종은 63속 106종으로 다양하였다. 분류군별은 규조류가 61.3%, 와편모조류가 34.9%를 차지하였고, 시간적으로는 가을에 다양한 종이 출현하였다. 식물플랑크톤 현존량 은 여름 0.6 cells · mL<sup>-1</sup>에서 봄 64.0 cells · mL<sup>-1</sup>의 범위로 매우 낮았다. 평균 세포밀도에 의한 연변동은 연평균 최저 11월 0.9 cells · mL<sup>-1</sup>에서 최고 4월 37.0 cells · mL<sup>-1</sup>의 범위로 매우 낮았다. 평균 세포밀도에 의한 연변동은 연평균 최저 11월 0.9 cells · mL<sup>-1</sup>에서 최고 4월 37.0 cells · mL<sup>-1</sup>로 변화하여 연평균 11.7cells · mL<sup>-1</sup>의 낮은 세포밀도를 나타내었다. 우점종은 4월에 *Skeletonema costatum*-like species(ls)에 의해 극우점되었다. 6월은 *Torodinium teredo, Cylindrotheca closterium, Scrippsiella trochoidea*, 9월은 *S. costatum* - ls, *Thalassionema nitzschioides, Pseudo-nitzschia pungens, Ebria tripartita* 그리고 11월은 *Corethron pennatum, Dictyocha fibura, Neoceratium teres*가 우점 출현하여, 기존 결과와는 다른 결과를 나타내었다. 생태지수 중에 종 다양성 지수는 4월과 9월에 낮고 6월과 11월에 높았다. 식물플랑크톤 군집으로 본 제주 바다목장 해역의 생물해양학적 특성은 연간 크기가 작은 나노플랑크톤에 의한 점유률이 높았고, 특정 중에 의해 극우점되는 외부 영양염류 유입보다는 생태내의 물질순환에 따른 재생산비율이 높은 것으로 판단되었다.

**Abstract** This study describes the spatio-temporal distributions in phytoplankton community such as species composition, standing crops and dominant species from April to November 2008 in the Jeju Marine Ranching Area (JMRA). A total of 106 species of phytoplankton belonging to 63 genera was identified. In particular, diatoms and dinoflagellates were occupied more than 61% and 35% of total species, respectively. The annual dominant species were *Skeletonema costatum*-like species(ls) in April, *Torodinium teredo, Cylindrotheca closterium, Scrippsiella trochoidea* in June, *S. costatum* -ls, *Thalassionema nitzschioides, Pseudo-nitzschia pungens, Ebria tripartita* in September and *Corethron pennatum, Dictyocha fibura, Neoceratium teres* in November. Phytoplankton cell density ranged between 0.6 cells  $\cdot$  mL<sup>-1</sup> in June and 64.0 cells  $\cdot$  mL<sup>-1</sup> in April. It fluctuated with an annual mean of 11.7 cells  $\cdot$  mL<sup>-1</sup> between the lowest value of 0.9 cells  $\cdot$  mL<sup>-1</sup> in November and the highest value of 37.0 cells  $\cdot$  mL<sup>-1</sup> by *S. costatum* -ls in April. Diversity index in September was higher than diatom blooming seasons in April. According to the phytoplankton community structure, the biological oceanographic characteristics of the JMRA was characterized by nanoplankton during a year. That is, primary production is deemed to have a higher possibility of being adjusted by a reproduction by material cycle in the ecosystems than nutrients supply from the lands.

Keywords : spatio-temporal distribution, phytoplankton community, Jeju Marine Ranching Area(JMRA), dominant species, diversity index

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2013005394) 결과의 일부이다. \*Corresponding Author : Yang Ho Yoon (Chonnam National Univ.) Tel: +82-10-6644-1229 email: yoonyh@jnu.ac.kr Received August 7, 2015 Revised (1st October 13, 2015 2nd November 3, 2015) Accepted November 6, 2015 Published November 30, 2015

## 1. 서론

해양생태계에서 식물플랑크톤은 태양 에너지를 고정 하여 상위영양단계의 소비자에게 에너지를 공급하는 기 초생산자로서 해양의 물질순환과 생태구조에 중요한 역 할을 담당한다[1,2]. 이러한 식물플랑크톤 성장은 해당 해역의 영양염류 농도(bottom-up)나 식물플랑크톤을 직 접 소비하는 동물플랑크톤의 포식압(top-down)을 포함 하여, 빛, 해수유동 등 다양한 해양환경에 지배된다[3-6]. 때문에 해역의 생태구조 및 환경특성을 파악할 때, 다양 한 물리·화학적 인자의 복합작용으로 변화되는 식물플 랑크톤 군집해석은 매우 중요하게 된다.

연안해역의 바다목장은 특정해역의 해양환경과 자원 생물의 군집구조를 개선하여, 해역의 생물생산성과 경제 성을 높이기 위해 실시되는 국가사업이다. 제주 시범바 다목장은 제주 서부해역인 한경면 연안의 23 ㎢ (2,300ha) 해역에 바다 숲 조성과 종묘방류에 의한 어장 조성과 체험공원을 설치하여 새로운 생태계를 조성하여 체험 · 관광형 바다목장을 조성하는 사업이다. 바다목장 해역은 암반이 발달하였고, 기후는 온난한 아열대해역 특징으로 용승류의 발생 등으로 다양한 수산생물이 서식 한다. 또한 조류흐름도 빠르고, 외해와 해수교환이 활발 하게 이루어지는 해역이기도 하다. 지금까지 제주 바다 목장 해역을 대상으로 수행된 학술연구는 대부분 바다목 장이 지정된 다음에 실시된 것으로 어류를 포함한 자원 생물의 동태 및 음향을 이용한 구집과 순치, 경제적 평가 등에 관련한 연구가 있다[7-14], 기타로는 해수의 이화 학적 특성[15], 식물플랑크톤 군집 및 크기별 엽록소에 관련된 연구[16,17] 및 외국기원의 쓰레기 관련 연구[18] 가 있다. 그러나 바다목장의 효율적 이용과 관리에 필요 한 해양생태계 및 어장기초 환경파악을 위한 조사는 매 우 빈약하다. 그렇지만 제주도 주변해역을 대상으로 하 였던 식물플랑크톤 군집 관련 연구는 제주북동해역인 함 덕연안해역의 한개 정점을 대상으로 짧은 시간간격의 표 본을 분석한 결과[19,20], 제주시 탑동, 제주항, 삼양발 전소, 함덕연안해역을 대상으로 한 연구결과[21-25]는 물론 한림과 성산, 우도, 서귀포 주변해역에 대한 결과 [26-29], 제주도 해안선 주변과 제주를 포함하는 남해 및 동중국해 해역에 대한 결과[25,29-31], 와편모조류 출현 종에 대한 결과[24], 그리고 적조생물연구[32] 등 다양하다. 이 연구는 제주 바다목장해역의 크기별 식물플랑크톤 군집 구조, 해역의 저차영양구조 및 물질순환 구조 특성

을 파악하여 바다목장 해역의 효율적 이용과 관리를 통 한 생산증대에 필요한 기초 자료 제공을 목적으로 한다.

## 2. 재료 및 방법

제주 바다목장 해역에서 식물플랑크톤 군집구조를 파 악하기 위한 현장조사는 바다목장해역의 8개 정점을 대 상으로 2008년 4월, 6월, 9월, 11월, 총 4회 조사를 실시 하였다[Fig. 1]. 계절적으로 겨울 현장조사는 실시하지 못하였다. 조사는 용선한 소형선박을 이용하여 각 정점 의 표층과 10m 수심의 해수를 반돈채수기 (3L)로 채수 하였다. 채집된 해수시료는 500ml용 폴리에틸렌 표본병 에 넣어 Lugol's 용액으로 2%가 되도록 현장에서 고정 하였다. 실험실에서 고정된 해수시료의 500ml를 취하여 침전법에 의해 최종농도가 5ml되도록 농축하였다. 정량 분석을 위하여 농축된 시료를 균일하게 희석한 후 1.0ml 를 Sedgwick Rafter Chamber에 취하여 광학현미경 (Nikon)을 이용, 100-400X 조건에서 종동정 및 계수를 실시하여, 단위체적당 세포수를 플랑크톤 현존량으로 환 산하였다. 시료의 동정은 다양한 식물플랑크톤 도감 [33-36] 등의 참고하였고, 분류체계는 World Register of Marine Species (WoRMS, www.marinespecies.org)에 준하여 정리하였다.

우점종은 전체 정점 평균으로 5% 이상의 세포밀도를 보인 종을 대상으로 하였고, 우점율이 가장 높은 종을 최 우점종, 다음을 차우점종 순으로 표현하였다. 그리고 출 현종과 현존량을 이용하여 식물플랑크톤 군집의 특성을



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

설명하는 종 다양성지수(H'), 종풍부도지수(R), 종균등도 지수(J), 우점도지수(D)를 정점별로 아래 계산식을 기초 로 하는 Primer 프로그램(ver. 6.0)을 이용하여 계산하였다.

종 다양성 지수 H' = -∑P<sub>i</sub>×ln(P<sub>i</sub>), 단 P<sub>i</sub>: i번째 종의 점유 률[37] 풍부도 지수 R = (S - 1)/ln(N), 단 S: 출현종수, N: 총출현개체수[38] 균등도 지수 J = H'/ln(S) [39] 우점도지수 D = (Y<sub>1</sub> + Y<sub>2</sub>)/Y, 단 Y: 총개체수, Y<sub>1</sub>과

#### Y2: 첫 번째와 두 번째 우점종의 개체수[40]

## 3. 결과

#### 3.1 식물플랑크톤의 종조성

2008년 제주 바다목장해역에서 출현이 확인된 식물 플랑크톤 종은 63속 106종으로 다양하였다. 분류군은 중심규조류가 22속 47종으로 44.3%, 우상규조류가 16 속 18종으로 17.0%로 규조류가 38속 65종으로 전체 61.3%의 종 점유률을 나타내었다. 기타로는 와편모조류 가 21속 37종으로 34.9%, 규질편모조류가 2속 2종으로 1.9%, 그리고 유글레나조류 및 동물성편모조류가 각각 1속 1종으로 각각 0.9%의 점유률을 보였다. 시간적 변 동은 수온하강기인 9월과 11월에 75종 이상으로 많은 종이 출현하였고, 수온상승기인 4월과 6월은 50종 이하 로 낮았다. 특히 6월 이후 고수온기에는 와편모조류를 포함한 편모조류가 다양한 출현을 나타내었다[Fig. 2].

시간적 변동양상은 4월에 30종 41종으로, 규조류가 21속 31종에 75.6%, 와편모조류가 6속 7종에 17.1%, 기 타 규질편모조류, 유글레나조류 및 동물성편모조류가 각 각 1속 1종에 소계 7.3%의 점유률을 나타내었다. 수심 별로는 표층에서 36종, 10m 수심에서 34종으로 차가 없 었다. 초여름 6월은 36종 49종으로, 규조류가 22속 33종 에 67.3%, 와편모조류가 11속 13종에 26.5%, 기타로는 규질편모조류 2속 2종, 동물성편모조류가 1속 1종에 소 계 6.1%의 점유률로서 4월과 유사하였다. 수심별로는 표층에서 37종, 10m 수심에서 42종이 출현하여 10m 수 심에서 다소 많은 종이 출현하였다. 초가을 9월은 54종 86종으로, 규조류가 31속 47종에 54.6%, 와편모조류가 19속 35종에 40.7%, 기타로 규질편모조류가 2속 2종, 유글레나조류 및 동물성편모조류가 각각 1속 1종으로



Fig. 2. Temporal variation of phytoplankton species number in the JMRA.

소계 4.7%의 종 출현 점유률로, 규조에 의한 점유률이 낮아진 반면, 편모조류에 의한 점유율이 높았다. 수심별 로는 표층이 81종, 10m 수심이 68종이 출현하여 표층에 서 높았다. 가을 11월은 52종 75종으로, 규조류가 35속 51종에 68.0%, 와편모조류가 13속 20종에 26.7%, 기타 규질편모조류가 2속 2종, 유글레나조류 및 동물성편모 조류가 각각 1속 1종으로 소계 5.3%의 점유률을 나타내 었다. 수심별로는 표층이 59종, 10m 수심이 52종이 출 현하여 4월 및 6월과는 달리 9월과 유사하여 표층에서 다소 높았다[Fig. 2].

제주 바다목장해역에서 식물플랑크톤 출현종의 시· 공간적 분포는 이른 봄 4월에는 표층과 10m 모두에서 바다목장 북부해역에서 상대적으로 높았고, 연안보다 바 깥해역에서 낮았다[Fig. 3A, 3B]. 그러나 표층보다 10m 에서 바깥해역에 다소 높았다. 그리고 분류군별로는 표 층과 10m 수심 모두에서 규조류에 의한 점유률이 높았 다. 다만 바다목장의 북부 및 남부해역에서 편모조류 점 유률이 다소 증가하였다[Fig. 3A, B]. 이른 여름 6월 표 층은 바다목장 북부연안 및 남부 정점에서 상대적으로 낮고, 목장해역 북부의 외측과 중앙부의 연안정점에서 비교적 많은 종이 출현하였다[Fig. 3C]. 그러나 10m 수 심은 표층과는 달리 남부를 제외하면, 전체적으로 낮았 고, 특히 북으로 갈수록 감소하였다[Fig. 3D]. 분류군별 로는 4월 봄과는 달리 표층과 10m 수심 모두에서 편모 조류에 의한 종 출현이 높았으며, 그 경향은 10m 수심보 다 표층에서 더욱 현저하였다[Fig. 3C, 3D]. 이른 가을인 9월 표층은 6월과는 달리 바다목장 남쪽해역에서 낮고 북으로 진행될수록 점차 증가하였다[Fig. 3E]. 10m 수심 은 표층과는 달리 바다목장 북쪽과 남쪽에서 상대적으로 높았지만, 바다목장 중앙부에서 상대적으로 출현종수가



Fig. 3. Spatio-temporal variations of phytoplankton species number at surface and 10m layer in the JMRA.

낮았다[Fig. 3F]. 분류군별로는 6월과 유사하여 표층과 10m 수심 모두에서 편모조류에 의한 종 출현 점유률이 높았다[Fig. 3E, 3F]. 늦가을인 11월 표층은 이른 가을과 는 반대로 바다목장 북쪽해역에서 출현 종수가 낮았고, 남쪽으로 갈수록 종수가 증가하였다[Fig. 3G]. 10m 수 심은 차귀도 인근의 바깥정점에서 매우 낮은 종수를 보 였으나, 북쪽해역은 종수가 높게 출현하였다[Fig. 3H]. 분류군별로는 규조류의 출현 점유률이 높지만, 이른 여 름이나 가을처럼 표층과 10m 수심에서 편모조류의 출현 종수도 비교적 많았다[Fig. 3G, 3H].

## 3.2 식물플랑크톤 현존량

제주 바다목장해역의 식물플랑크톤 현존량의 계절변 동 양상은 표층과 10m 수심 모두에서 봄인 4월과 가을 인 9월에 높은 세포밀도를 나타내었다[41]. 그리고 11월 에 가장 낮았다. 분류군별로는 수심에 관계없이 전체 식 물플랑크톤 현존량은 규조류에 의해 지배되었으나, 고수 온기인 6월과 9월은 편모조류의 세포밀도도 비교적 높 게 나타났다[42]. 최대 및 최소 세포밀도에 의한 정점 사 이 변동 폭은 전체적으로 낮았지만, 4월과 11월의 식물 성 편모조류에서 상대적으로 큰 변동 폭을 보였다[Fig. 4]. 시간적으로 봄 4월 제주 바다목장해역 표층의 식물플 랑크톤 현존량은 2.2 x 10<sup>4</sup> cells/L에서 6.4 x 10<sup>4</sup> cells/L

의 범위에서 3.7 ± 1.4 x 10<sup>4</sup> cells/L(평균 ± 표준편차로 이하 동일)로 변화하였고, 10m 수심은 1.7 x 10<sup>4</sup> cells/L 에서 4.3 x 10<sup>4</sup> cells/L의 범위에서 30.0 ± 8.0 x 10<sup>3</sup> cells/L로 변화하여, 비교적 낮은 세포밀도를 나타내었다 [Fig. 4]. 6월 표층은 0.9 x 10<sup>3</sup> cells/L에서 1.8 x 10<sup>4</sup> cells/L의 범위에서  $1.3 \pm 0.3x \ 10^3$  cells/L로 변화하였고. 10m는 0.6x10<sup>3</sup> cells/L에서 1.9x10<sup>4</sup> cells/L의 범위에서 1.1±0.5x10<sup>3</sup> cells/L로 변화하여, 4월보다도 낮은 세포밀 도를 보였을 뿐만 아니라 공간 및 수심에 따른 출현 세 포밀도 차이도 작았다. 그러나 표층과 10m 수심의 현존 량에서 규조류의 점유률은 각각 43.5%와 73.7%로 큰 차이를 나타내었다. 반면 표층에서 편모조류의 세포밀도 점유률은 56.5%로 규조류보다도 높은 특성을 보였다 [Fig. 4]. 9월 표층은 1.3 x 10<sup>4</sup> cells/L에서 4.2 x 10<sup>4</sup> cells/L의 범위에서 22.2 ± 8.9 x 10<sup>3</sup> cells/L로 변화하였 고, 10m는 6.0 x 10<sup>3</sup> cells/L에서 2.4 x 10<sup>4</sup> cells/L의 범 위에서 12.9 ± 5.2 x 10<sup>3</sup> cells/L로 변화하여, 4월보다는 낮지만 6월보다는 높았다. 공간 및 수심에 따른 세포밀 도의 차이도 비교적 크게 나타났다.

규조류의 세포밀도는 표층과 10m에서 각각 67.7%와 73.0%로 높았으나, 표층에서 편모조류의 점유률도 32.3%로 높았다[Fig. 4]. 11월 표층은 0.6 x 10<sup>3</sup> cells/L 에서 1.2 x 10<sup>3</sup> cells/L의 범위에서 8.6 ± 1.7 x 10<sup>2</sup>



Fig. 4. Temporal variations of cell density for phytoplankton taxons at surface and 10m layers in the JMRA.

은 남쪽의 연안해역에서 상대적으로 세포밀도를 높은 것 과 북쪽해역의 비교적 균일한 세포밀도를 보이는 것을 제외하면, 표층과 유사하였다[Fig. 5B], 6월 표층은 차귀 도 인근해역의 세포밀도가 다소 높은 것은 제외하면, 전 체해역에서 비교적 균일하게 분포하였다[Fig. 5C]. 10m 수심은 차귀도 서쪽의 연안해역역과 바깥해역에서 상대 적으로 세포밀도가 높지만, 서남쪽 정점에서 상대적으로 세포밀도가 낮았다[Fig. 5D]. 이른 가을 9월 표층은 바다 목장 바깥해역보다 연안해역, 그리고 북쪽보다 남쪽 정

cells/L로 변화하였고, 10m는 0.4 x 10<sup>3</sup> cells/L에서 1.4 x 10<sup>3</sup> cells/L의 범위에서 9.0 ± 2.9 x 10<sup>2</sup> cells/L로 변화 하여, 6월보다도 낮은 세포밀도를 나타내었다. 그러나 공간 및 수심에 따른 출현 세포밀도 차이는 작아서 비교 적 균일한 분포 특성을 보였다. 그리고 규조류의 점유률 은 표층과 10m에서 각각 79.1%와 80.1%로 높았다[Fig. 4]. 공간분포는 4월은 종수의 공간분포와 유사하여 일정 한 규칙성은 없지만, 상대적으로 연안정점에서 세포밀도 가 높은 반면, 바깥해역에서 낮았다[Fig. 5A]. 10m 수심



Fig. 5. Spatio-temporal variations of phytoplankton cell density at surface and 10m layers in the JMRA.

점에서 세포밀도가 높았고, 남쪽에서 북쪽으로 진행함에 따라 세포밀도가 낮아지는 특성을 보였다[Fig. 5E]. 10m 수심은 표층과는 반대로 바다목장 북쪽의 바깥해역과 연 안해역에서 세포밀도가 높았고, 점차 남쪽으로 진행함에 따라 세포밀도가 낮아지는 특성을 보였다[Fig. 5F]. 늦은 가을 11월 표층은 전체적으로 매우 낮은 세포밀도로서, 전체해역에서 비교적 균일한 분포양상을 보였다[Fig. 5G]. 10m 수심은 남쪽의 연안보다 북쪽 연안해역에서 세포밀도가 높았다[Fig. 5H].

식물성 편모조류의 공간분포는 식물플랑크톤군집에 서 편모조가 차지하는 비율이 낮기에, 그 해석에 커다란 의미를 부여할 수는 없겠지만, 해역의 부영양화 등 환경 문제와 깊은 관련성을 보이는 항목이기에 간략하게 현황 을 표시하여 둔다. 이른 봄 4월 표층은 출현종 수와 동일 하게 차귀도 인근에서 높은 세포밀도를 보이나, 바깥해 역 및 북쪽 연안해역에서 낮은 세포밀도를 나타내었다 [Fig. 6A]. 10m 수심은 표층과는 달리 연안해역에서 상 대적으로 높은 세포밀도를 보였으나, 북쪽의 바깥해역은 매우 낮은 세포밀도를 나타내었다[Fig. 6B]. 이른 여름 6 월은 북쪽 연안해역을 제외하면 바깥해역에서 상대적으 로 높고, 연안해역에서 낮았다[Fig. 6C]. 10m 수심은 전 체적으로는 표층과 유사한 분포 양상이지만, 차귀도 인 근에서 상대적으로 낮은 세포밀도를 나타내었다[Fig. 6D]. 이른 가을 9월 표층은 전체 식물플랑크톤 현존량의 공간분포 경향과 유사하였다[Fig. 6E]. 그러나 10m 수심 은 표층과는 달리 일정한 규칙성이 없이 북쪽의 바깥해 역에서 차귀도 인근까지 해역에서 상대적으로 높은 세포 밀도를 나타내었다[Fig. 6F]. 늦은 가을 11월 표층은 연 안해역에서 높고, 바깥해역에서 낮은 세포밀도를 보였고 [Fig. 6G], 10m 수심은 북쪽에서 다소 높고 남쪽으로 갈 수록 급격히 세포밀도는 감소하는 경향을 나타내었다 [Fig. 6H].

다만, 제주 바다목장해역의 시·공간적인 식물플랑크 톤 현존량의 분포양상은 일정한 규칙성이 없이 매우 불 규칙한 분포를 나타내었다. 이와 같은 현상을 보이는 원 인을 구체적으로 분명하게 제시할 수 없지만, 연안부에 서 발생하는 지하수(용천수) 및 차귀도를 중심으로 하는 복잡한 해수유동의 결과로서 나타나는 현상으로 이해할 수 있다. 그리고 제주 바다목장해역의 식물플랑크톤 현 존량의 계절변동은 온대해역의 개방해역에서 관찰되는 전형적인 양상을 보인다. 그러나 이러한 결과가 해수의 혼합 및 성층 등 연직안정도나 외부에서 유입되는 영양



Fig. 6. Spatio-temporal variations of phytoflagellates cell density at surface and 10m layers in the JMRA.

염류에 의한 것인지에 등에 대해서는 한 번의 현장조사 결과로 단정할 수는 있는 내용이 아니다.

### 3.3 식물플랑크톤 우점종

2008년 제주 바다목장해역의 식물플랑크톤 군집에서 5% 이상 우점률을 나타내는 우점종의 시간적 변화는 이 름 봄 4월 표층과 10m에서 소형 규조류인 Skeletonema costatum - ls가 약 60% 전후 우점율로 극우점하였다. 다음은 모든 수층에서 규조류 Rhizosilenia hebetata가 6 ~ 7%의 우점율을 나타내었다[Table 1]. 이른 여름 6월 표층은 와편모조류 Torodinium teredo와 Scrippsiella trochoidea가 각각 15.8%와 12.1% 우점율로 출현하였 고, 우점규조류인 Cylindrotheca closterium이 14.4% 우 점율로 10% 이상의 우점율을 나타내었다. 10m 수심은 표층과 달리 C. closterium 및 규조류 Leptocylindrus danicus가 각각 18.1%와 12.9% 우점률을 보였고, 표층 에서 우점 출현하였던 와편모조류의 두 종은 낮은 우점 율을 나타내었다[Table 1]. 이른 가을 9월 표층은 S. costatum - Is 및 우상규조류 Thalassionema nitzschioides, Pseudo-nitzschia pungens가 각각 17.3%, 16.4% 및 14.8%로 우점 출현하였다. 10m 수심은 표층의 제1 및 제2 우점종인 S. costatum - Is 및 Th. nitzschioides가 각 각 25.0%와 20.8%로 표층 보다 높은 우점율로 최우점 종 및 차우점종을 차지하였다. 그리고 9월은 다른 계절 과 달리 동물성(규질) 편모조류 Ebria tripartita가 표층

 Table 1. Temporal variation of dominant species and dominance in the JMRA

		Dominar	Dominance (%)		
Seasons	Dominant Species	Domina Surface 63.8 6.0 15.8 14.4 12.1 17.3 16.4 14.8 6.1 5.4 32.9 9.1 7.3 6.8	10m layer		
April	Skeletonema costatum -ls	iema costatum -ls 63.8			
2008	Rhizosolenia hebetata	6.0	7.0		
	Torodinium teredo	15.8	5.8		
June 2008	Cylindrotheca closterium	14.4	18.1		
	Scrippsiella trochoidea	12.1	(1.6)		
	Leptocylindrus danicus	8.2	12.9		
	Skeletonema costatum -ls	17.3	25.0		
Cantanah an	Thalassionema nitzschioides	16.4	20.8		
September	Pseudo-nitzschia pungens	14.8	9.6		
2008	Ebria tripartita	6.1	(4.7)		
	Cylindrotheca closterium	Static         laye           63.8         57.           6.0         7.           15.8         5.           14.4         18.           12.1         (1.6           8.2         12.           17.3         25.           16.4         20.           14.8         9.           6.1         (4.7)           5.4         6.           32.9         39.           9.1         5.           7.3         7.           6.8         5.           (1.5)         7.           (1.2)         5.	6.1		
November 2008	Corethron pennatum	32.9	39.9		
	Dictyhocha fibula	9.1	5.3		
	Thalassionema nitzschioides	7.3	7.0		
	Paralia sulcata	6.8	5.6		
	Neoceratium teres	(1.5)	7.1		
	Skeletonema costatum -ls	(1.2)	5.0		

과 10m에서 5% 전후 우점률로 출현하는 특성을 보였다 [Table 1]. 그리고 11월은 모든 수층에서 규조류 Corethron pennatum 가 32.9%와 39.9%의 높은 우점률로 최우점 하였고, 규질편모조류 Dictyocha fibula가 5 ~ 9%의 우 점률을, 그리고 와편모조류인 Neoceratium teres가 저층 에서 7.1% 우점률로 출현하는 특성을 나타내었다[Table 1].

#### 3.4 생태지수

생물군집에서 생태지수를 계산하기 위해서는 식물플 랑크톤 군집을 구성하는 모든 종에 대한 명확한 동정과 세포밀도 등 현존량이 정확하게 이루어져야 한다는 전제 조건이 충족되어야만 된다. 그러나 생태를 기반으로 하 는 군집분석에서 연구자에 따라서는 우점종 등 생태적 기능을 우선하여 종 동정이 이루어지고 있어. 생태지수 에 의한 군집해석에 객관성을 확보하기는 쉽지 않다. 이 러한 문제점을 포함하고 있지만, 제주 바다목장해역의 식물플랑크톤 군집에 대한 생태지수의 시간적 변동 양상 을 살펴보았다. 이른 봄 4월 표층에서 풍부도 및 우점도 지수는 각 3.044 ~ 5.434 및 0.552 ~ 0.782로 높았으나, 다양도 및 균등도 지수는 각 1.143 ~ 1.835 및 0.395 ~ 0.636으로 낮아, Skeletonema costatum - Is의 극우점 현상을 반영하고 있었다. 10m 수심도 지수의 절대값은 다소 다르지만, 전체적인 변동은 표층과 비슷하였다 [Table 2]. 초여름 6월 표층은 풍부도 및 우점도 지수가 각 1.334 ~ 2.333 및 0.259 ~ 0.522로 봄보다 낮으나, 다 양도 및 균등도 지수는 각 1.873 ~ 2.524 및 0.781 ~ 0.900으로 봄보다 높아, 많지 않은 출현 종수가 비교적 균일한 세포밀도를 나타내는 군집 구조를 이루는 것으로 판단되었다. 10m는 봄과 같이 지수의 절대값은 다소 차 이가 있지만, 전체적으로는 표층과 비슷하였다[Table 2]. 초가을 9월 표층은 풍부도 및 우점도 지수는 각 3.385 ~ 4.793 및 0.295 ~ 0.557로 6월보다는 높고, 4월보다 낮 았다. 그리고 다양도 및 균등도 지수는 각 2.272 ~ 2.908 및 0.604 ~ 0.766으로 6월과 같이 특정종에 의한 극우점 없이 비교적 다양한 생물종 및 세포밀도에 의한 군집 구 조를 이루는 것으로 판단되었다. 10m는 풍부도 및 우점 도 지수가 각 2.549 ~ 3.565 및 0.298 ~ 0.583으로 표층 보다 낮은 풍부도에 높은 우점도를 나타내었다. 그리고 다양도 및 균등도 지수도 각 2.005 ~ 2.698 및 0.584 ~ 0.810으로 표층보다 다소 낮아, 저층은 표층보다 특정 종에 대한 우점현상이 현저하였다[Table 2]. 늦가을 11

Layer		Surface				10m Layer			
Ecological Indices		Min.	Mean	Max.	SD	Min.	Mean	Max.	SD
Richness	April 19	3.944	4.448	5.434	0.520	4.352	4.926	5.431	0.367
	June 23	1.334	1.857	2.333	0.350	1.597	2.010	2.778	0.368
	September 2	3.385	3.850	4.793	0.447	2.549	3.565	3.030	0.300
	November 1	2.177	3.068	3.680	0.542	1.511	2.323	2.728	0.400
Evenness	April 19	0.395	0.521	0.636	0.075	0.495	0.563	0.613	0.039
	June 23	0.781	0.861	0.900	0.042	0.805	0.879	0.935	0.046
	September 2	0.604	0.720	0.766	0.048	0.584	0.703	0.810	0.067
	November 1	0.751	0.787	0.843	0.030	0.586	0.826	0.695	0.080
Diversity	April 19	1.143	1.466	1.835	0.232	1.430	1.614	1.788	0.115
	June 23	1.873	2.278	2.524	0.200	2.124	2.358	2.541	0.137
	September 2	2.272	2.636	2.908	0.181	2.005	2.373	2.698	0.217
	November 1	2.036	2.412	2.680	0.220	1.421	1.945	2.205	0.265
Dominance	April 19	0.552	0.639	0.782	0.075	0.564	0.654	0.727	0.045
	June 23	0.259	0.384	0.522	0.083	0.310	0.374	0.464	0.041
	September 2	0.295	0.369	0.557	0.084	0.298	0.455	0.583	0.113
	November 1	0.378	0.484	0.613	0.069	0.476	0.587	0.773	0.099

Table 2. Temporal variation of the ecological indices at surface and 10m layers in the JMRA

월 표층은 풍부도 및 우점도 지수가 각 2.177 ~ 3.680 및 0.378 ~ 0613으로 9월에 비해 낮은 풍부도와 높은 우 점도를 보였다. 다양도 및 균등도 지수는 각 2.036 ~ 2008 2.680 및 0.751 ~ 0.843으로 9월에 비해 낮은 다양도에, 종인 56 높은 균등도를 보였다. 10m는 풍부도 및 우점도 지수가 변 해역

각 1.511 ~ 2.728 및 0.476 ~ 0.773로 표층보다 더 낮고, 높았다. 다양도 및 균등도 지수는 각 1.421 ~ 2.205 및 0.586 ~ 0.826으로 표층보다 낮았다[Table 2].

즉 제주바다목장 해역의 식물플랑크톤 군집에서 다양 도 및 우점도 지수만을 고려한 시간적 변화는 다양도 지 수의 경우 봄에 낮고, 수온 상승과 함께 증가하다가 늦가 을 재차 감소하는 반면, 우점도 지수는 반대로 봄에 높아 서 이후 초가을까지 감소하지만, 늦가을 재차 다소 증가 하였다. 즉 봄 규조류가 대량 발생하는 시기에 종 다양성 이 가장 낮은 식물플랑크톤 군집을 구성하는 것으로 나 타났다[Fig. 7].



Fig. 7. Temporal variation of diversity and dominance indices at surface in the JMRA.

#### 4. 고찰

Min. : Minimum, Max, : Maximum, SD : standard deviation

2008년 제주 바다목장해역에서 출현한 식물플랑크톤 종인 56속 104종은 시기에 다소 차이는 있으나, 제주주 변 해역의 기존 결과와 비교하면 제주 동쪽의 성산포와 우도에서 기록된 85종[27]이나 89종[26]보다는 높지만, 제주도 북부 제주항 및 주변해역의 171종[23], 탑동의 123종[20], 함덕의 120종[19]이나 132종[21], 제주 해안 선의 복수정점에서 245종[25]에 비하면 낮다. 다만 제주 바다목장 해역에서 거리적으로 인접하는 한림연안의 112종[27]과는 유사하지만, 2005년 바다목장 해역의 294종[15]의 1/2수준이었다. 그 외에도 국내의 서해 하 구역이나 내만해역은 200종 이상 출현종이 보고되고 있 으며[43], 남서해역에서는 100종 전후 출현 종수가 많게 기록되는 등[42] 해역과 연구자에 따라 출현 종수에서 많은 차이를 보인다. 때문에 제주주변해역의 기존자료와 차이를 보이는 출현 종수는 제주 바다목장해역의 해양환 경변화 특성을 반영한다고 판단하는 것보다 연구자에 의 해 군집을 구성하는 소량 출현종에 대한 분류기준을 달 리하기 때문에 발생하는 부분이 크다고 할 수 있다. 그리 고 출현종의 계절변화에서 규조류는 연중 높은 출현점유 률을 보이나, 와편모조류 등 식물성 편모조류가 상대적 으로 수온이 높은 시기에 높은 출현율을 보이는 것은 제 주도 인근해역[18, 19, 23]은 물론 우리나라 연안[42-44] 과 중위도해역에서 일반적인 현상이다[45]. 그리고 여름 과 가을 표층과 10m 수심에서 와편모조류 출현 종수에 서 차이를 보이는 것은 광량의 증가에 따른 일부 종이 광 저해[46-49] 및 낮과 밤을 통해 표층과 저층으로 이 동하는 편모조류의 일주연직운동[50,51]에 의한 결과로 판단할 수 있다.

식물플랑크톤 세포밀도는 0.6 ~ 36.4 x 10<sup>3</sup> cells/L는 지금까지 제주 주변해역을 대상으로 실시한 연구결과에 서 가장 낮은 세포밀도를 보였던 함덕연안의 7.1 ~ 73.0 x 10<sup>3</sup> cells/L[21]보다도 낮았다. 제주 해역에서 보고된 최대 세포밀도는 제주항의 3.1 x 10<sup>7</sup> cells/L[23] 및 바다 목장 해역에서 가까운 한림항의 1.2 x 10<sup>7</sup> cells/L[32] 등 폐쇄성의 강한 항구에서는 부영양화된 연안/내만해역의 세포밀도 수준으로 출현한다[52]. 일반적으로 개방된 제 주해역의 최대 세포밀도는 10<sup>5</sup> - 10<sup>6</sup> cells/L 단위로 출현 한다[53]. 2005년 조사한 제주 바다목장 해역도 22.1 ~ 486.9 x 10<sup>3</sup> cells/L로 출현하였다[15]. 그러나 2008년 제주 바다목장 해역에서 세포밀도는 6.0 x 10<sup>2</sup> cells/L. 최대도 3.6 x 10<sup>4</sup> cells/L으로 최대, 최소의 세포밀도 모 두에서 한 단위 낮은 농도를 보였다. 전국 연안을 대상으 로 하더라도 비교적 영양염류가 풍부한 남해 및 서해의 최저 세포밀도는 10<sup>3</sup> cells/L 수준이지만 제주와 유사한 빈영양 상태를 보이는 동해에서는 10<sup>2</sup> cells/L 수준의 세 포밀도가 다수 보고 된다[54]. 그리고 전국 연안에서 식 물플랑크톤 최대 세포밀도는 1980년대에 마산만 및 당 동만 등 진해만에서 소형 편모조류인 Heterosigma akashiwo, Prorocentrum micans, P. minimum, P. triestinum 등 및 Karenia mikomotoi에 의해 1.3 x 10<sup>9</sup> cells/L 및c 4.1 x 10<sup>8</sup> cells/L, 가막만의 규조류 Chaetoceros affinis alc Heterosigma akashiwo 등에 의해 1.3 x 10<sup>8</sup> cells/L 등의 수 십 회 이상 10<sup>8</sup> cells/l 수준의 세포밀도가 보고 되었다[55]. 이러한 기존 연구 결과에f 비하면, 2008년 제주 바다목장해역의 식물플랑크톤 세포는 빈영양조건 을 고려하더라도 소형세포가 주를 이루고 있는 것[16, 56]을 고려하면 매우 낮은 값이다. 또한 2005년 동일 해 역에서 조사한 결과에 비해서도 최대, 최소값 모두 한 단 위 낮게 출현되었다. 이와 같은 현상에 대해, 윤(미발표) 은 2014년 가을 제주 바다목장 인근해역인 제주북서해 역에서 인공 바다숲 조성 및 자연 바다숲 그리고 갯녹음 발생 해역으로 구분된 3개 해역에 대해 집중적인 식물플 랑크톤 군집조사에서 3개월이란 짧은 기간에서 출현 세 포밀도의 시·공간 변화가 10<sup>2</sup> - 10<sup>8</sup> cells/L로 극단적인 변동하는 것을 관찰하였다. 이와 같은 결과는 제주 연안

해역의 식물플랑크톤 군집은 극소형 종에 의해 구성되는 비율이 크고[16], 극심한 영양염류 불균형[15]에 의해 생 태계 내에서 물질순환에 의한 재생산이 매우 큰 것을 나 타내는 것으로 해석하고 있다. 즉 조사시점의 해양환경 변동에 따라 식물플랑크톤 종은 빠른 성장으로 크기를 소형화하고 있기 때문이라 하고 있다(미발표 자료).

우점종에서 4월 Skeletonema costatum - ls에 의한 극우점 현상이나 6월 와편모조류 Torodinium teredo에 의한 최우점종 출현, 그리고 9월 우점율은 낮지만 동물 성(규질) 편모조류인 Ebria tripartita에 의한 우점종 출 현은 물론 11월 규조류 Corethron pennatum에 의한 최 우점 및 규질편모조류 Dictyocha fibula, 그리고 저층에 서 와편모조류인 Neoceratium teres에 의한 우점종 출현 등은 제주 연안에서 매우 이례적인 현상이다. 특히 6월 T. teredo 및 11월 C. pennatum에 의한 최우점 현상은 지금까지 국내의 연구에서 관찰되지 않은 새로운 결과이 다. 제주 연안은 쓰시마난류의 영향을 강하게 받고 있는 해역으로 늦봄에서 가을까지는 유글레나조류인 Eutreptiella, 침편모조류인 Heterosigma akashiwo, 와편모조류인 Gvrodinium, Karenia, Neoceratium, Prorocentrum 속에 의한 우점 현상은 보고된다[15, 19, 53], 그리고 규조의 Chaetoceros socialis 및 S. costatum에 의해 일부 항내 에서 극우점하는 현상도 보고[27]되지만, 개방해역에서 는 이례적이다. 규질편모조류 E. tripartita 및 D. fibula 에 의한 우점 또한 제주 연안에서 기록된 적이 없다. 다 만 D. fibula는 일본에서 적조생물로 분류되어 있고, 남 해의 개방해역에서는 계절에 따라 10% 이상의 우점 출 현도 관찰된다(윤, 미발표). 또한 봄과 6월을 제외한 모 든 시기에 우점종으로 출현하는 S. costatum에 대해 Skeletonema costatum-like species(ls)로 표현하는 것은 최근의 분류기법에 의한 결과[57-60]로 제시된 문헌을 참고 바란다.

그러나 바다목장 해역의 생태지수에 종 다양성 지수 는 규조류 대발생이 있는 봄과 가을에 낮고, 여름과 가을 에 높은 것이 보고된다[15]. 이 조사 결과도 유사한 경향 을 보이지만, 특정종에 의한 극우점이나 계절적인 생태 지수의 큰 변동 폭은 외부 환경의 변화에 의해 쉽게 영 향을 받을 수 있는 생태구조로 하고 있는 것으로 판단되 었다. 때문에 제주 바다목장 해역의 식물플랑크톤 군집 은 계절에 관계없이 환경변화에 쉽게 반응할 수 있는 극 소형인 미소플랑크톤에 의한 조성비가 높으며, 변동 특 성이 온대개방해역보다 열대해역의 해양환경과 유사하 다는 것[16]도 이와 같은 내용을 뒷받침 하고 있다.

즉 일반적으로 연안 해역의 식물플랑크톤 군집은 계 절에 따라 다소 차이는 있어도 빛, 수온, 포식압 등의 물 리·생물학적 인자보다 영양염류의 공급에 의해 영향을 받기 쉽다[45]. 그러나 제주바다목장 해역의 생태구조는 미세먹이망에 의존하는 부분이 크고[61], 기초생산자인 식물플랑크톤은 영양염공급보다도 미소동물플랑크톤의 포식압에 의해 조절되는 부분이 크다[62,63]는 기존의 연구결과[16]와도 부합되는 것으로 판단할 수 있었다.

이러한 제주 바다목장해역의 식물플랑크톤 군집의 시 · 공간적 분포양상은 우리나라 남해 등 연안해역에서 관 찰되는 내용과는 많은 차이를 나타낸다. 즉, 제주 바다목 장해역의 효율적 이용 및 관리를 위해서는 보다 철저한 해양환경 및 생태구조를 명확하게 이해하지 않으면, 목 장관리에 발생하는 문제점 등에 대처하기가 매우 어렵다 는 것을 나타내는 내용이라 하겠다. 제주 바다목장해역 은 국내에서 다른 시범바다목장과는 다른 해양환경 및 생태구조를 가지고 있어, 장기적인 모니터링 등이 반드 시 필요한 것으로 판단된다.

#### References

- U. Riebesell, "Effects of CO<sub>2</sub> 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: <u>http://dx.doi.org/10.1146/annurev.es.13.110182.002025</u>
- [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. T. O. Kirk, Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems (3rd eds). Cambridge Univ. Press, 662pp., 2011.
- [6] 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
- [7] 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.

DOI: http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2002.35.6.563

- [8] 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.
- [9] 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. DOI: http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2010.46.2.139
- [10] 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. DOI: <u>http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2012.48.2.128</u>
- [11] 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. DOI: http://dx.doi.org/10.12939/FBA.2013.44.3.029
- [12] 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.
- [13] 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. DOI: http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2014.50.1.030
- [14] Y. C. Choi and J. S. Kim, "Distribution of physico-chemical characteristics on the development of marine ranching program in the Chagwi-Do cosatal waters, Jeju Island", J. Korean Soc. Mar. Environ. Eng., 11, 105-112, 2008.
- [15] 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
- [16] Y. H. Yoon, "Spatio-temporal variability and size fractionation of chlorophyll *a* in the Jeju Marine Ranching Area (JMRA) with special reference to the signification of nanoplankton", KAIS, 15, 6388-6398, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.5762/kais.2014.15.10.6388
- [17] 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.
- [18] Y. H. Yoon, H. G. Rho and Y. G. Kim, "Variable of nake phytoflagellates in the coastal waters of Hamdok, northern Cheju Islabd during spring and summer", Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ., 14, 1-8, 1990.

- [19] Y. H. Yoon, H. G. Rho and Y. G. Kim, "Seasonal succession of phytoplankton population in the Hamdok port, Northern Cheju Island", Bull. Mar. Sci. Inst., Cheju Nat'l Univ., 16, 27-42, 1992.
- [20] J.-B. Lee, "Species composition and dynamics of phytoplankton community at Top-dong coastal area in the northern part of Cheju Island", Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ., 13, 35-45, 1989.
- [21] J.-B. Lee, H.-B. Koh, Y.-B. Go and Y.-C. Choi, "Bioecological studies of the northern coastal area in Cheju Island - Phytoplankton dynamics and primary productivity at Hamduk-area", Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ., 19, 103-113, 1995.
- [22] J.-B. Lee, M.-H Lee and D.-W. Kang, "Phytoplankton community dynamics and primary productivity around Samyang terminal power plant in the northern Cheju, Korea", Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ., 22, 133-148, 1998.
- [23] J.-B. Lee and B. Shin, "Seasonal variation of phytoplankton around Jeju harbor", Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ., 24, 79-85, 2000.
- [24] H.-S. Kim, S.-H. Kim, M.-M. Jung and J.-B. Lee, "New record of dinoflagellates around Jeju Island", J. Ecol. Environ., 36, 273-291, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.5141/ecoenv.2013.273
- [25] J.-B. Lee, Y.-B. Go and J. H. Choa, "The structure and dynamics of phytoplankton communities around the coastline of Cheju Island, Korea", Korean J. Phycol., 5, 159-171, 1990.
- [26] J.-B. Lee, J.-H. Choa, Y.-B. Go and Y.-C. Choi, "Bioecological studies of the eastern coastal area in Cheju Island (II) Phytoplankton dynamics and primary productivity around U-do", J. Korean Earth Sci. Soc., 14, 458-466, 1993.
- [27] J.-B. Lee and J.-H. Choa, "The dynamics of phytoplankton communities at Hanrim and Songsan harbor of Cheju Island, Korea", Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ., 19, 9-24, 1990.
- [28] J.-H. Choa and J.-B. Lee, "Bioecological characteristics of coral habitatas around Moonsom, Cheju Island, Korea I. Environment properties and community structures of phytoplankton". The Sea Journal of the Korean Society of Oceanography, 5, 59-69, 2000
- [29] J.-B. Lee, "Spatial distribution of phytoplankton in the southwestern Sea of Korea in spring", Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ., 27, 15-20, 2003.
- [30] Y. H. Yoon, J. S. Park, H. Y. Soh and D. J. Hwang, "On the marine environment and distribution of phytoplankton community in the Northwen East China Sea in early summer 2004", J. Korean Soc. Mar. Envion, Eng. 8, 100-110, 2005.
- [31] M. O. Park, S. W. Kang, C. I. Lee, T. S. Choi and F. Lantoine, "Structure of the phytoplanktonic communities in Jeju Strait and northern East China Sea and dinoflagellate blooms in spring 2004: analysis of photosynthetic pigments", "The Sea\_ J. Korean Soc. Oceanogr., 13, 27-41, 2008.
- [32] Y. H. Yoon, H. G. Rho and Y. G. Kim, "Red tide organisms in the coastal waters of Cheju Island, Southern Korea", Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l

Univ., 15, 1-14, 1991.

- [33] E. E. Cupp, "Marine plankton diatoms of the west coast of north America", Bull. Scripps Inst. Oceanogr., Univ. Calif. 5, 1-237, 1943.
- [34] J. D. Dodge, Marine dinoflagellates of the British Isles, Her Majesty's Office, London, 303pp., 1982.
- [35] M. Chihara and M. Murano, An Illustrated Guide to Marine Plankton in Japan. Tokai Univ. Press, Tokyo, pp. 1571, 1997.
- [36] C. R. Tomas (ed.), Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates, Academic Press, Oxford, 858pp., 1997.
- [37] C. E. Shannon and W. Weaver, The mathematical theory of communication. University of Illinois Press, Urbana. p.117-125, 1963.
- [38] R. Margalef, "Information theory in ecology", Gen. Syst., 3, pp. 157-175, 1958.
- [39] E. C. Pielou, "The measurement of diversity in different types of biological collections", T. Theoret. Biol., 13, 131~144, 1996. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0
- [40] S. J. McNaughton, "Structure and function in California grassland", Ecology, 49, 962~972, 1968. DOI: http://dx.doi.org/10.2307/1936547
- 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
- [42] Y.H. Yoon, Marine environment and phytoplankton community in the southwester sea of Korea, In "Choi, J.K. (ed.), The Plankton Ecology of Korean Coastal Waters, Donghwa Tech. Publ. Co., Seoul", p. 68-93, 2011.
- [43] Y. K. Shin, "A ecological study of phytoplankton community in the Geum river estuary", KJEE, 46, 524-540, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.11614/KSL.2013.46.4.524
- [44] J. K. Choi and J. H. Shim, "The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. III. Phytoplankton composition, standing crops, tychopelagic plankton", J. Oceanol, Soc. Korea, 21, 156-170, 1986.
- [45] P. Castro and M. E. Huber, Marine Biology (8th eds), McGraw Hill Comp., NY, 461pp., 2010
- [46] P. J. Shaw and D. A. Purdie, "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, 2001. DOI: http://dx.doi.org/10.3354/meps216083
- [47] K. Gao, G. Li, E. W. Helbling and V .E. Villafan, "Variability of UVR effects on photosynthesis of summer phytoplankton assemblages from a tropical coastal area of the South China Sea", Photochem. Photobiol., 83, 802-809, 2007. DOI: <u>http://dx.doi.org/10.1111/j.1751-1097.2007.00154.x</u>
- [48] V. E. Villafae, P. J. Janknegt, M. de Graaff, R. J. W. Visser, W. H. van de Poll, A. G. J. Buma and E. W. Helbling, "UVR-induced photoinhibition of summer marine phytoplankton communities from Patagonia",

Mar. Biol., 154, 1021-1029, 2008. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s00227-008-0993-0

- [49] D. J. Gerla, W. M. Mooij and J. Huisman, "Photoinhibition and the assembly of light-limited phytoplankton communities", Oikos, 120, 359-368, 2011. DOI: <u>http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18573.x</u>
- [50] S. U. Gerbersdorf and H. Schubert, "Vertical migration of phytoplankton in coastal waters with different UVR transparency", Environmental Sciences Europe, 23, 36(14pp.), http://www.enveurope.com/content/23/1/36, 2011.
- [51] I. Shulman, B. Penta, M. A. Moline, S. H. D. Haddock, S. Anderson, M. J. Oliver and P. Sakalaukus, "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, 2012. DOI: 10.1029/2011JC007480. DOI: http://dx.doi.org/10.1029/2011JC007480
- [52] S. Iizuka, "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, 1985.
- [53] Y. H. Yoon, "Seasonal changes of phytoplankton communities and primary production in Cheju coastal waters, Southern Korea". Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat'l Univ., 17, 33-56, 2003.
- [54] J. K. Choi (ed.), The Plankton Ecology of Korean Coastal Waters, Donghwa Tech. Publ. Co., Seoul. 472pp., 2011.
- [55] Y. H. Yoon, 2006, The current state of rede tide and dynamics of rede ride organisms. in" Natural Environments and Industry in the Kamak Bay, Gudeok Publ. Co., Busan", p.208-221, 2006.
- [56] H. Jr. Curl and G. C. Mcleod, "The physiological ecology of marine diatom, *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve", J. Mar. Res., 19, 70-88, 1961.
- [57] D. Sarno, W. H. C. F. Kooistra, S. Balzano, P. E. Hargraves and A. Zingone, "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, 2007.

DOI: http://dx.doi.org/10.1111/j.1529-8817.2006.00305.x

- [58] T. J. Smayda, "Cryptic planktonic diatom challenges phytoplankton ecologists", Proc. Nat'l Acad. Sci. USA, 108, 4269-4270, 2011. DOI: <u>http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1100997108</u>
- [59] M. Yamada, "Recent studies on biodiversity and eco-physiological characteristics of the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae)", Bull. Plankton Soc. Japan, 60, 18-28, 2013.
- [60] Y. H. Yoon, "Spatio-temporal distributions of phytoplankton community in the coastal waters of Gogunsan Islands (CoWGIs), West Sea of Korea", KAIS, 16, 2287-2300, 2015. DOI: <u>http://dx.doi.org/10.5762/kais.2015.16.3.2287</u>
- [61] P. Cermeno, 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

- [62] 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
- [63] 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: <u>http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2006.05.013</u>

#### 윤 양 호(Yang Ho Yoon)

[정회원]



- 1984년 3월 : Nagasaki대학 대학 원 수산학연구과(수산학석사)
- 1989년 3월 : Hiroshima대학 대학 원 생물권과학연구과(학술박사)
- •1990년 3월 ~ 2006년 2월 : 여수 대학교 교수
- •2006년 3월 ~ 현재 : 전남대학교 교수

<관심분야>

식물플랑크톤 생리·생태, 연안환경생태 및 복원/개선, 미세 조류의 산업적 이용(바이오에너지), 수산환경