

# 남해 중앙부 연안해역 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포특성

윤양호  
전남대학교 해양기술학부

## Spatio-temporal Distributions of Phytoplankton Community in the Coastal Waters of Central South Sea (CWoCSS), Korea

Yang Ho Yoon

Faculty of Marine Technology, Chonnam National University

**요약** 남해 중앙부 연안해역에서 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포특성을 파악하기 위하여 2012년 7월부터 2013년 4월까지 20개 정점의 표층과 저층(Bottom + 1m)에서 계절별 조사를 실시하였다. 출현한 식물플랑크톤은 52속 87종으로 규조류가 62.1%, 식물성 편모조류가 37.9%로서 여름에 69종으로 높고, 봄과 가을에 42종으로 낮았다. 현존량은 봄  $1.0 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ 에서 겨울에  $4.51 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 범위로 연평균  $7.9 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 낮았다. 최우점 및 차우점종은 여름 *Chaetoceros curvisetus*, *Ch. debilis*, 가을은 *Eucampia zodiacus*, 겨울은 *E. zodiacus*, *Thalassiosira curviseriata* 그리고 봄은 *Skeletonema costatum* -ls (like species), *Leptocylindrus danicus*였다. 우점종을 이용한 주성분분석에서 중심구조와 우상구조의 출현환경은 다른 것으로 나타났으며, 특점에 의한 해역구분은 전체적으로 남해중앙부에서는 서쪽해역인 여수해만 및 동산연안과 중앙부 개방해역이 서로 다른 환경특성을 나타내어, 남해 중앙부 연안해역은 섬진강에서 유출되는 담수 및 외해역에서 영향을 미치는 쓰시마난류, 중국대륙연안수 및 한국고유연안수에 의한 혼합수가 계절에 따라 세력을 달리하면서는 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

**Abstract** This paper described the spatio-temporal distributions in the phytoplankton community, such as species composition, standing crops, and dominant species, from July 2012 to April 2013 in the Coastal Waters of Central South Sea (CWoCSS) of Korea. A total of 87 species of phytoplankton belonging to 52 genera were identified. In particular, diatoms and phytoflagellates comprised more than 62.1% and 37.9% of the total species, respectively. The phytoplankton cell density fluctuated with an annual mean of  $7.9 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$  between the lowest value of  $1.0 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$  in spring and the highest value of  $4.5 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$  in winter. The seasonal succession of the dominant species were *Chaetoceros curvisetus*, *Ch. debilis* in summer, *Eucampia zodiacus* in autumn, *E. zodiacus*, *Thalassiosira curviseriata* in winter and *Skeletonema costatum* -ls (like species), *Leptocylindrus danicus* in spring. According to principal component analysis, the phytoplankton community of the CWoCSS was characterized by the mixing rate between the freshwater inflow from Somjin River and the seawater of the South Sea, Korea.

**Keywords** : spatio-temporal distribution, phytoplankton community, chlorophyll a, Coastal Waters of Central South Sea (CWoCSS), principal component analysis(PCA)

### 1. 서론

해양생태계 에너지흐름의 토대를 형성하는 기초생산

자는 식물플랑크톤에 의해 구성된다. 즉 식물플랑크톤은 해수의 용존무기영양염류와 용존탄산염을 이용하여 태양에너지를 고정하여 해양생태계에 에너지를 공급하는

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2013005394) 및 2016년도 전남대학교 학술연구비에 의해 수행된 결과이다.

\*Corresponding Author : Yang Ho Yoon(Chonnam National University)

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

Received September 7, 2016

Revised (1st November 2, 2016, 2nd November 8, 2016)

Accepted January 6, 2017

Published January 31, 2017

역할을 수행한다. 이러한 식물플랑크톤은 공간적 특성을 보이는 바다에서 태양에너지를 고정하는데 필수적인 태양광은 표층의 극히 표층에만 존재하기 때문에 광을 이용할 수 있는 생존전략으로 단위체적 당의 표면적을 최소로 적응하여 매우 작은 크기의 생물로 진화되었다[1]. 그러기에 식물플랑크톤은 단세포로 눈으로 직접 확인할 수 없는 현미경적 크기로 대부분의 운동력을 상실하거나, 있더라도 매우 미약하여 해류, 조석, 바람 등 외력에 대해 수동적으로 적응할 수밖에 없기 때문에 주위 환경에 민감한 반응을 보인다. 이러한 이유로 해역에서 식물플랑크톤 군집에 대한 정확한 해석과 출현변동을 발생시키는 환경 인자를 도출하는 것은 해역의 환경특성 파악은 물론 해역의 효율적 이용과 관리라는 측면에서 매우 중요하다 할 수 있다.

한국 남해는 쓰시마난류, 중국대륙연안수, 한국고유연안수 및 황해저층냉수괴 등이 계절에 따라 세력 확장을 달리하기에 다양한 해양환경과 복잡한 해황구조를 나타낸다. 특히 여수해만과 연결된 남해 중앙부 해역은 연중 섬진강 유입에 의한 연안수와 쓰시마난류 및 중국대륙연안수의 혼합수에 의해 전선이 형성되는 등 해황구조가 복잡하다[2]. 때문에 식물플랑크톤 등 해양생태계의 기반이 되는 생물군이 변동도 외부 환경에 크게 지배되는 특성을 보인다. 그에 따라 연안생태계는 매우 다양한 생물군에 의해 복잡한 먹이망 구조를 나타낼 뿐만 아니라 다양한 해양환경의 영향으로 생태계의 반응도 매우 다양하다[3]. 특히 남해 중앙부의 연구해역은 북으로 여수해만을 통해 여수항 및 광양항과 연결되며, 남해 동쪽 수로를 통해서도 삼천포항과 진주만으로 연결된다. 이러한 지형학적 조건은 광양항 컨테이너부두 및 여수산업단지 입·출항하는 국제항로의 역할과 함께 입항선박의 정박지로 이용되는 해역이다. 한편으로는 만내의 여수산업단지 및 광양제철소 등에서 배출되는 산업배수에 의한 해양환경오염에 직접적으로 노출된 해역이기도 하다. 이런 한편으로는 오래전부터 돌산도 동안을 중심으로 삼치, 멸치 등 연안 회유성 어류의 회유장소로 이들 어종의 포획을 위한 대규모 정치망이 산재하는 등 수산업 측면에서도 매우 중요한 해역이다. 이러한 중요성에도 불구하고 현재까지 남해 중앙부해역을 대상으로 한 과학적 해양연구는 매우 빈약하다. 여수해만과 남해 중앙부 연안해역 및 여수해만 등을 대상으로 실시된 식물플랑크톤 등 해양환경 연구는 매우 제한적이다[4-6].

따라서 이 논문은 식물플랑크톤의 종조성, 출현 세포 밀도 및 생물량 등 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포로부터 남해 중앙부 연안해역의 생물해양학적 환경 특성을 파악하여, 다양하게 활용되는 해양산업적 이용은 물론 해양환경오염 발생에 대한 대책 및 해양환경 보전, 그리고 해역이용과 관리를 위한 계획수립 등에 이용할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

남해 중앙부 연안해역의 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포특성을 파악하기 위해 2012년 7월 30일(여름), 11월 19일(가을), 그리고 2013년 2월 14일(가을) 및 4월 15일(봄) 등 계절 조사를 실시하였다. 조사는 소형선박을 이용하여 남해 연안해역의 20개 정점을 대상으로 하였다(Fig. 1). 표본 채집은 채수법에 의한 정성, 정량분석을 실시하였다[7]. 채수는 3L 용량의 반돈 채수기를 이용하여 표층과 저층보다 1m 위 수층(저층, B+1m)의 해수를 채수하였고, 정점의 위치는 휴대용 GPS 또는 선박에 장착된 플로터에 의해 확인하였다. 다만, 4계절 중 가을은 황천으로 남해도 남동해역의 7개 정점은 조사가 되지 않았다.

식물플랑크톤 표본은 해수 500 mL를 폴리에틸렌 표본병에 채수하여 중성 포르마린 최종농도가 0.4%로 고정하였다[8]. 고정한 해수는 실험실에서 24시간 이상 정지시켜 상등액을 제거하여 침전시키는 방법을 반복하여 최종농도가 10 mL가 되도록 농축하였다. 검경은 마이크로피펫을 이용하여 농축시료 0.1~1.0 mL를 0.5mm 간격의 봉선이 삽입된 계수판에 취하여 커버글라스를 하여

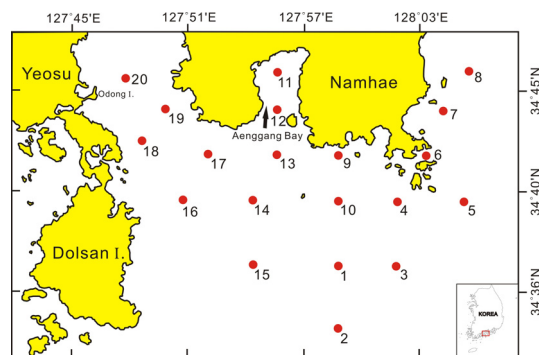


Fig. 1. Map show to sampling station in the CWoCSS.

DIC가 장착된 광학현미경(Nikon, Eclipse TE300/ Nikon Eclipse 80i)을 사용하여 100X-400X 배율에서 중 동정과 계수를 실시하였다. 중 동정은 [9-14] 및 최근의 분류 문헌을 참고하였다. 또한 최근 식물플랑크톤의 분류체계는 매우 급격하게 변화되기에 객관성 확보를 위해 World Register of Marine Species (WoRMS, www.marinespecies.org)에 준하여 정리하였다.

해역의 잠재생물 생산성을 평가하기 위한 식물플랑크톤 생물량 지표로 Chlorophyll *a* (Chl-*a*) 농도는 현장에서 직접적으로 연속 측정이 가능한 잠수형형광광도계(JFE Advantech Co., Ltd, ASTD102)를 이용하여 각 정점의 표층에서 저층까지 1m 단위로 측정하였다. 다만 필요에 따라 Chl-*a* 농도의 보정은 일부 정점의 표층 해수를 채수하여, 실험실에서는 채수된 해수 500 mL를 취하여 박막여과지(pore size; 0.45µm, diameter; 47mm)가 장착된 여과장치를 이용하여 흡인 여과시킨 다음, 박막여과지에 포집된 식물플랑크톤 시료를 90%의 아세톤을 용매로 여과지를 녹혀 터치 믹서로 분쇄하여 추출시킨다. 색소가 추출된 용매는 원심분리기(3000rpm, 15분)를 이용하여 용매와 불순물을 분리시킨다. 분리된 표본의 상등액을 취하여 분광광도계(Mecasys Co. Ltd., Optizen 2120UV)를 사용하여 복수 파장에 대한 비색을 측정한다[15]. 측정된 복수 파장의 흡광도는 보정 이후 경험식에 의해 Chl-*a* 농도를 계산하였다.

그리고 계절별 표층 식물플랑크톤 우점종을 이용하여 주성분분석을 실시하였다. 주성분분석은 SPSS 프로그램을 이용하여 누적기여율 70%를 기준으로 계산하였다[16]. 계산된 인자부하량으로 식물플랑크톤의 출현 특성을 파악하였고, 특징에 의해 해역을 구분하였다.

### 3. 결과

#### 3.1 식물플랑크톤 군집

##### 1) 종조성

남해 중앙부연안부에서 계절조사 결과 출현이 확인된 식물플랑크톤 종은 52속 87종으로 규조류가 35속 54종으로 62.1%의 출현율을, 와편모조류를 포함한 식물성 편모조류가 17속 33종으로 37.9%의 점유율이었다. 계절별로는 여름이 69종으로 다양하였고, 봄과 가을이 42종으로 낮았다(Fig. 2). 분류군별로는 규조류가 연중 높은 출현 종을 보였고, 와편모조류를 포함한 식물성 편모조

류는 여름에 집중적으로 출현하였다. 이러한 계절변화는 한국 남해연안 및 내만해역에서 일반적으로 관찰되는 현상이라 할 수 있다[17, 18].

출현종의 계절친이 특성은 동일종에 대해서도 계절에 따른 세포밀도 차이가 크고, 4계절 출현한 종은 규조, *Chaetoceros affinis*, *Ditylum brightwellii*, *Eucampia zodiacus*, *Guinadia flaccida*, *G. striata*, *Leptocylindrus danicus*, *Nitzschia longissima*, *Paralia sulcata*, *Pleurosigma normanii*, *Proboscia alata*, *Pseudo-nitzschia pungens*, *Pseudosolenia calcar-avis*, *Rhizosolenia setigera*, *Skeletonema costatum*-ls, *Stephanophysix turris*, *Thalassionema nitzschioides* 16종과 식물성 편모조, 의 *Tripos kofoidii*, *Noctiluca scintillans*, *Protoperidinium pentagonum* 3종, 그리고 유글레나조류인 *Eutreptiella gymnastica* 1종을 포함하여 20종이었다(Table 1). 이들 종은 우리나라 연안해역에서도 비교적 쉽게 관찰된다. 그러나 대부분 식물성 편모조 및 규조, *Cerataulina pelagica*, *Corethron pennatum*, *Helicotheca tamesis*, *Hemiaulus sinensis*, *Planktoniella blanda*, *Rhizosolenia robusta*, *Sarrirella fastuosa*, *Thalassiosira curviseriata*, *Thalassiosira nordenskiöldii* 등은 특정 계절에 일시적으로 출현하는 특성을 나타내었다. 이러한 결과는 한국 남해연안의 식물플랑크톤 군집의 계절변화에서 와편모조류를 포함하는 식물성 편모조류는 일시적으로 짧은 기간 출현하는 결과와 유사하였다[18, 19].

남해 중앙부 연안해역에서 출현한 식물플랑크톤 87종을 기존의 연구결과와 비교하면, 인접하는 가막만, 광양만, 여자만과는 비슷하거나 다소 낮지만, 완도 및 목포연안 등 남서해역의 내만에 비하면 높았다[18]. 그러나 여름 남해 개방해역에서 측정된 85종과는 유사하다[20]. 이러한 결과는 모두 계절조사를 기본으로 한 내용이지

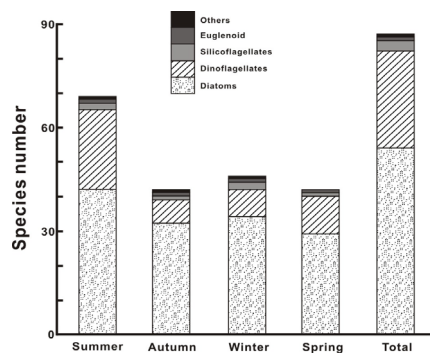


Fig. 2. Temporal variations of species number in the CWoCSS

**Table 1.** Seasonal change of phytoplankton species composition in the CWoCSS

| Species Name                       | SUM | AUT | WIN | SPR | Species Name                      | SUM | AUT | WIN | SPR |
|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| <b>DIATOMS</b>                     |     |     |     |     | <i>Skeletonema costatum</i> -ls   | **  | *   | *   | **  |
| <i>Actinoptychus senarius</i>      | *   | *   | *   | *   | <i>Stephanophyxis turris</i>      | *   | *   | *   | *   |
| <i>Actinoptychus</i> sp.           |     | *   |     |     | <i>Surrirella fastuosa</i>        |     | *   |     |     |
| <i>Asterionelopsis glacialis</i>   | *   |     | *   | *   | <i>Thalassionema frauenfeldii</i> | *   | *   | *   |     |
| <i>Bacteriastrium delicatulum</i>  | *   |     |     |     | <i>Th. nitzschoides</i>           | *   | *   | *   | **  |
| <i>B. hyalinum</i>                 | *   | *   |     |     | <i>Thalassiosira curviseriata</i> |     |     | *** |     |
| <i>Bacteriastrium</i> sp.          | *   |     | *   |     | <i>Th. nordenskiöldii</i>         |     |     | **  |     |
| <i>Bacillaria paxillifera</i>      | *   | *   |     | *   | <i>Thalassiosira rotula</i>       | *   | *   | *   |     |
| <i>Cerataulina pelagica</i>        | *   |     |     |     | <i>Thalassiosira</i> spp.         | *   | *   |     | *   |
| <i>Chaetoceros affinis</i>         | **  | *   | *   | **  | <b>PHYTOFLAGELLARES</b>           |     |     |     |     |
| <i>Ch. debilis</i>                 | **  | *   |     |     | <i>Akashiwo sanguinea</i>         | *   |     |     | *   |
| <i>Ch. curvisetus</i>              |     | **  | *   | **  | <i>Alexandrium catenella</i>      | *   |     |     |     |
| <i>Ch. didymus</i>                 | *** |     |     |     | <i>Dictyocha fibula</i>           | *   |     | *   | *   |
| <i>Ch. lorenzianus</i>             | *   | *   | *   |     | <i>D. speculum</i>                |     |     | *   |     |
| <i>Ch. perivianus</i>              | *   |     | *   | *   | <i>Dinophysis acuminata</i>       |     |     |     | *   |
| <i>Ch. pseudocurvisetus</i>        | *   |     |     |     | <i>D. caudata</i>                 | *   |     |     |     |
| <i>Chaetoceros</i> spp.            | *   | *   | **  | **  | <i>D. fortii</i>                  |     |     | *   |     |
| <i>Corethron pennatum</i>          | *   |     |     |     | <i>D. rotundata</i>               | *   |     |     |     |
| <i>Coscinodiscus gigas</i>         |     | *   |     | *   | <i>Ebria tripartita</i>           | *   | *   | *   |     |
| <i>Coscinodiscus</i> spp.          | *   | *   | *   | *   | <i>Eutreptiella gymnastica</i>    | *   | *   | *   | *   |
| <i>Dactyliosolen fragilissimus</i> |     |     | *   | *   | <i>Gonyaulax polygramma</i>       | *   |     |     |     |
| <i>Detonula pumila</i>             |     |     | *   | *   | <i>G. verior</i>                  | *   |     |     |     |
| <i>Ditylum brightwellii</i>        | *   | *   | *   | *   | <i>Gonyaulax</i> sp.              | *   |     |     | *   |
| <i>Eucampia zodiacus</i>           | *   | *** | *** | **  | <i>Gymnodinium catenatum</i>      | *   |     |     |     |
| <i>E. cornuta</i>                  | *   |     |     |     | <i>Gymnodinium</i> sp.            | *   |     | *   |     |
| <i>Guinadia flaccida</i>           | *   | *   | *   | *   | <i>Gyrodinium</i> sp.             | *   |     | *   |     |
| <i>G. striata</i>                  | *   | *   | *   | *   | <i>Noctiluca scintillans</i>      | *   | *   | *   | *   |
| <i>Helicotheca tamesis</i>         | *   |     |     |     | <i>Octactis octonaria</i>         | *   | *   |     |     |
| <i>Hemiaulus sinensis</i>          | *   |     |     |     | <i>Prorocentrum compressum</i>    | *   |     |     |     |
| <i>Leptocylindrus danicus</i>      |     | *   | **  | **  | <i>P. micans</i>                  | *   | *   |     |     |
| <i>Licmophora abbreviata</i>       | *   |     | *   |     | <i>P. triestinum</i>              | *   |     | *   |     |
| <i>Lithodesmium undulatum</i>      |     |     | *   |     | <i>Protoperidinium oceanicum</i>  | *   |     |     |     |
| <i>Melosira nummuloides</i>        | *   |     | *   |     | <i>P. pellucidum</i>              | *   |     |     |     |
| <i>Neodelphineis pelagica</i>      |     |     |     | *   | <i>P. pentagonum</i>              | *   | *   | *   | *   |
| <i>Nitzschia longissima</i>        | *   | *   | *   | *   | <i>P. spinulosum</i>              | *   |     |     |     |
| <i>Odontella aurita</i>            | *   |     |     | *   | <i>Protoperidinium</i> spp.       |     | *   |     | *   |
| <i>O. sinensis</i>                 | *   |     | *   |     | <i>Pyrocystis lumula</i>          |     |     |     | *   |
| <i>Paralia sulcata</i>             | *   | *   | *   | *   | <i>Pyrophacus steinii</i>         |     | *   |     |     |
| <i>Planktoniella blanda</i>        |     | *   |     |     | <i>Scrippsiella trochoidea</i>    | *   |     | *   | *   |
| <i>Pleurosigma normanii</i>        | *   | *   | *   | *   | <i>Triplos furca</i>              | *   | *   |     | *   |
| <i>Proboscia alata</i>             | *   | *   | *   | *   | <i>Tr. fusus</i>                  | *   |     |     |     |
| <i>Pseudo-nitzschia pungens</i>    | *   | *   | *   | **  | <i>Tr. kofoidii</i>               | *   | *   | *   | *   |
| <i>Pseudosolenia calcar-avis</i>   | *   | *   | *   | *   | <i>Tr. muelleri</i>               | *   |     |     | *   |
| <i>Rhizosolenia imbricatum</i>     | *   |     |     |     |                                   |     |     |     |     |
| <i>Rh. robusta</i>                 |     | *   |     |     |                                   |     |     |     |     |
| <i>Rh. setigera</i>                | *   | *   | *   | *   |                                   |     |     |     |     |

\*<5%, 5%≤\*\*<20%, \*\*\*≥20%

SUM : summer, AUT : autumn, WIN : winter, SPR : spring

만, 해역의 식물플랑크톤 출현종은 연구자와 조사해역, 그리고 조사 횟수 등에 의해 큰 차이를 보인다. 실제 기존의 한국 연안해역에서 기록된 출현종을 보면, 남해는 36 ~ 342종[18], 동해는 95 ~ 409종[21], 그리고 서해는 96 ~ 268종[22]으로 차이가 10배 가까운 경우도 있다. 이러한 차이는 연구자에 의해 군집해석에서 소수 출현종에 대한 분류기준이 다르기 때문으로 판단되었다. 또한

출현종의 계절변화에서 연중 구조류 점유율이 높고, 와편모조류를 포함한 식물성 편모조류는 고수온기에 한정하여 높게 되는 것은 한국 연안해역[17, 18, 23, 24]과 중위도해역에서 일반적으로 관찰되는 현상이라 할 수 있다[2].

## 2) 현존량

표층 식물플랑크톤 현존량은 봄  $1.0 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서 겨울에  $451.2 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 의 범위로 변화하였다. 계절별 정점에 따른 세포밀도의 변동 폭은 여름  $20.2 \sim 248.0 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 의 범위에서  $64.0 \pm 51.8 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ (평균  $\pm$  표준편차, 이하 같은 방식으로 표현)의 변동 폭을, 가을은  $5.4 \sim 273.6 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  ( $53.9 \pm 74.1 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ), 겨울은  $10.6 \sim 451.2 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  ( $115.9 \pm 129.0 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) 그리고 봄은  $1.0 \sim 172.2 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  ( $82.0 \pm 42.1 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ )의 변동 폭을 보였다. 즉 식물플랑크톤 현존량은 겨울에 높고, 가을에 낮았다. 공간적인 변화는 가을에 크고, 기타 계절은 유사하였다. 그리고 수층별로는 전체적으로 저층 식물플랑크톤 현존량이 표층보다 높았다(Fig. 3).

또한 분류군별 식물플랑크톤 세포밀도 점유율은 표층에서 여름 와편모조류를 포함한 식물성 편모조류 점유율이 16.7%를 차지한 것을 제외하면 기타 모든 계절에 규조류가 95% 이상 차지하였다. 저층은 표층보다 규조류 점유율이 높아, 여름도 95% 이상, 기타 계절은 99.5% 이상으로 연중 규조류가 식물플랑크톤 군집을 지배하였다. 계절별 정점에 따른 규조류 점유율은 여름 표층이 59.7 ~ 99.0%의 범위에서  $83.3 \pm 8.9\%$ 의 변동폭을, 저층이 82.2 ~ 99.8%의 범위에서  $95.8 \pm 5.6\%$ 의 변동폭을 보였다. 가을은 표층이 89.1 ~ 99.5%의 범위에서  $95.9 \pm 3.5\%$ 의 변동 폭을, 저층이 96.3 ~ 99.2 %의 범위

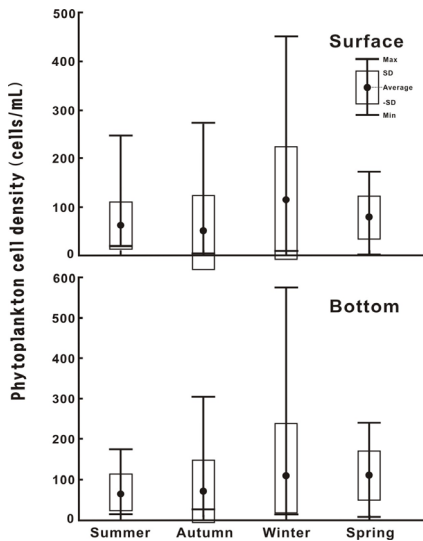


Fig. 3. Temporal variations of phytoplankton cell density at surface and bottom layers in the CWoCSS.

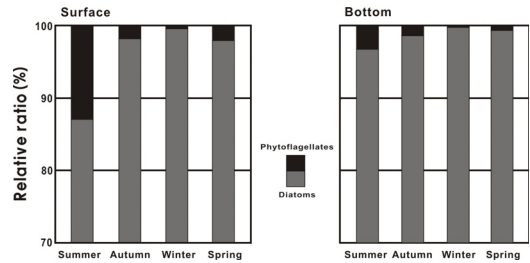


Fig. 4. The changes of relative ratio of diatoms and phytoflagellates on total phytoplankton cell density in the CWoCSS

에서  $98.3 \pm 0.9\%$ 의 변동 폭으로 매우 균일하였다. 겨울 표층은 94.3 ~ 100 %의 범위에서  $98.7 \pm 1.69\%$ 의 변동 폭을, 저층은 98.5 ~ 100%의 범위에서  $99.6 \pm 0.4\%$ 의 변동 폭으로 가을과 같이 균일하였다. 그리고 봄 표층은 80.0 ~ 99.2%의 범위에서  $96.9 \pm 4.0\%$ 의 변동 폭을, 저층은 96.5 ~ 99.8%의 범위에서  $98.9 \pm 1.1\%$ 의 변동 폭을 보였다(Fig. 4). 그리고 계절별 규조류 점유율을 차감한 부분이 식물성 편모조류의 점유율을 나타내는 것이 된다.

공간분포는 여름 표층에서 중앙부 서쪽해역인 돌산도와 여수연안에서  $60 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이상을, 중앙부 동쪽인 남해도 남동부 해역에서  $30 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이하의 세포밀도를 보였다. 저층은 돌산도 인근해역에서  $80 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이상으로 높은 세포밀도가 남해도 남동부 해역까지 깊숙하게 유입되는 설상 모양을 나타내었다(Fig. 5). 가을 표층은 앵강만에서  $100 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이상의 높은 세포밀도를, 만의 해역은 여름과는 달리 여수 인근해역에서  $20 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이하의 낮은 밀도를, 그리고 해역의 중앙부에서  $40 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이상으로 상대적 높은 세포밀도를 보였다. 저층도 표층과 같이 앵강만에서  $100 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이상을, 만의 남해 중앙부는 표층과 유사하여 서쪽 여수해만 입구해역에서  $40 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 높고 낮음이 반복되는 분포특성을 보였다(Fig. 5). 겨울 표층은 앵강만 내만해역과 여수연안 해역, 그리고 남해 동부 진주만 입구해역에서  $100 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이상, 특히 여수연안 해역은  $400 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이상 높은 세포밀도를 보였다. 그러나 개방해역인 중앙부 연안해역은  $20 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이하로 낮았다. 저층은 여수, 돌산연안과 앵강만, 그리고 진주만 입구해역에서  $100 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이상을, 특히 오동도 인근해역에서는  $500 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이상의 높은 세포밀도를 보였다. 그리고 남해도 남부 개방해역은

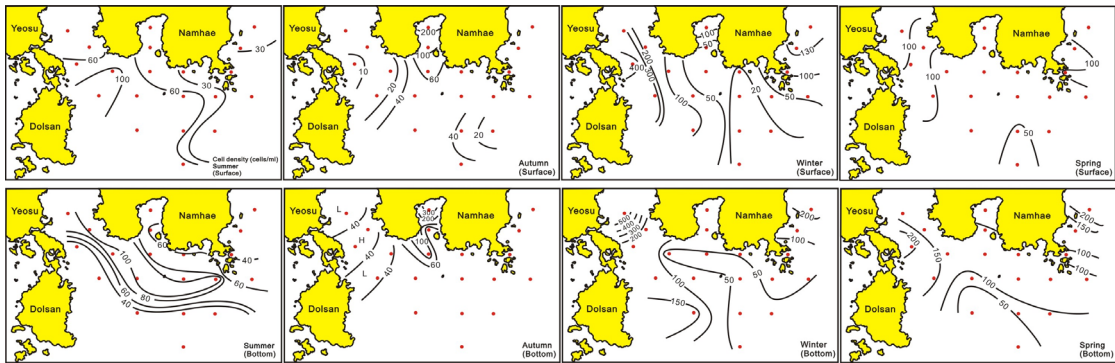


Fig. 5. Spatio-temporal variations of phytoplankton cell density in the CWoCSS.

표층보다 다소 높은  $50 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이하를 나타내었다 (Fig. 5). 봄 표층은 앵강만에서  $100 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이상의 높은 세포밀도를, 만외 해역은 여름과는 달리 여수 인근 해역에서  $20 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이하로 낮았다, 그리고 중앙부에서  $40 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이상 상대적으로 높았다. 저층은 여수해만과 진주만 입구해역에서  $150 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이상의 세포밀도를 보이는 반면, 중앙부 개방해역에서  $50 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이하로 낮은 반면, 중앙부 연안해역에서  $100 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이상 높은 밀도를 보였(Fig. 5).

남해 중앙부 연안해역의 연중 규조류의 극단적인 점유율은 고수온기 부영양화가 진행된 일부해역[19]을 제외한, 개방해역이나 수질환경이 좋은 연안해역에서는 어렵지 않게 보고되는 현상이다[25]. 그리고 식물플랑크톤 현존량의 변동 범위인  $1.0 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에서  $4.5 \times 10^2 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 는 한국 동, 서, 남해 내만해역 및 제주연안해역의 식물플랑크톤 최대 세포밀도는  $10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 의 단위에서 변화하는 것[17, 18, 21, 22, 24]에 비하면 한 단위 낮은 값이다. 그러나 남해의 경우, 광양만, 가막만, 여자만, 득량만 등 내만해역의 식물플랑크톤 최대 세포밀도는 일반적으로  $10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$  이상을 나타내지만, 완도연안 및 남서 개방해역은 이 연구에서보다  $10^1 \sim 10^2 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 의 세포밀도를 나타낸다[18, 20, 26]. 즉 남해 중앙부 연안해역의 식물플랑크톤 현존량은 섬진강 등 내만으로 유입되는 담수유입과 남해에 영향을 미치는 쓰시마난류, 중국대륙연안수 및 한국고유연안수의 확장 및 혼합정도에 따라 크게 영향을 받는 것으로 판단되었다[4, 5, 27].

그러나 남해 중앙부 연안해역에서 여름 표층보다 저층에서 높은 식물플랑크톤 세포밀도를 나타내는 것은 매우 이례적인 내용이다. 즉 일반적으로 맑은 개방해역

은 고수온기에 해수표면에 높은 일사량으로 광 저해 등이 발생하여 표층보다 다소 깊은 수심에서 식물플랑크톤 최대층이 형성되는 것은 널리 알려진다[2]. 연안 및 내만해역도 광량이 강한 여름, 이러한 현상이 관찰되지만  $20 \sim 40\text{m}$  수심을 보이면서 부유물질량이 상대적으로 높은 연안해역은 표층이 높은 세포밀도를 보인다[25]. 남해 중앙부 연안해역에서 이러한 세포밀도 역전 현상은 당시 표층에 무각 와편모조류, *Gymnodinium catenatum* 및 대형 와편모조류, *Noctiluca scintillans*에 의한 적조발생이 있었으나, 포르마린 고정시약에 의해 상당부분이 파괴되었고[28], 일부 대형 와편모조류는 검경에서 누락되는 등이 이유에서 표층 식물플랑크톤 세포밀도가 실제보다 과소평가되었기 때문에 발생한 것으로 판단되었다[2, 18].

그리고 온대해역의 개방해역에서는 일반적으로 봄과 가을에 규조에 의한 대발생이 관찰되는 것으로 알려진 것[2]과는 달리 남해 중앙부 연안해역은 겨울 저층에서 높은 식물플랑크톤 세포밀도를 나타내었다. 이러한 결과는 한국 서해와 남해와 같이 수심의 얇고, 조석혼합으로 해수의 연직혼합이 활발한 내만 및 연안해역에서 비교적 쉽게 관찰되는 현상이다[29, 30]. 실제 한국 남서연안 및 내만해역인 가막만, 득량만, 완도연안, 고흥연안 등 다양한 내만해역에서 식물플랑크톤 세포밀도의 계절변화가 다른 계절보다 겨울이 높으며, 수층도 표층보다 저층에서 높다는 것이 정리되어 있다[18].

### 3) 우점종

남해 중앙부 연안해역의 식물플랑크톤 군집에서 전체 정점 평균으로 약 5% 이상의 우점율을 보이는 우점종은 계절에 따른 천이가 관찰되어 4계절 우점종으로 출현하

는 종은 없었다. 다만 중심규조인 *Eucampia zodiacus*가 가을에서 봄까지 낮은 수온시기에 우점하였고, 특히 가을과 겨울에는 전체 수층에서 최우점하였다. 광양만 등 내만에서 연중 우점 출현하는 규조류 *Skeletonema costatum*-ls는 봄에만 우점 출현하였다(Table 2). 우점종의 계절변화는 여름 표층에 유독성 외편모조류인 *Gymnodinium catenatum* 및 야광충 *Noctiluca scintillans*가 혼합되어 적조를 발생하였으나, 이들 적조생물이 포르마린 고정 표본에서는 상당부분 파괴되어 과소평가 됨과 동시에 일정 해역에 패치분포를 하기에 정점 평균으로 표현한 최우점종은 중심규조인 *Chaetoceros curvisetus*로서 26.4%의 우점율을 보였다. 기타 우점종은 중심규조, *Chaetocero debilis*, *Chaetoceros affinis*가 5% 이상 우점하였다. 저층도 최우점종 및 차우점종은 우점률에 다소 차이를 보일뿐 동일하였고, 표층에 우점하지 않는 *S. costatum*-ls와 *Asterionelopsis glacialis*가 5% 이상 우점하였다(Table 2). 가을은 표·저층 모두 중심규조 *E. zodiacus*가 각 우점율 75.2%와 66.4%로 극우점하였다. 기타 낮은 우점율의 우점종은 표층에 *Ch. curvisetus*, 저층에 중심규조, *Thalassiosira nordenskioldii* 등이었다(Table 2). 겨울도 표·저층 모두 가을에 극우점한 *E. zodiacus*가 각 우점율 36.2%와 31.5%로 계속하여 우점하였다. 제2우점종도 표·저층 모두 중심규조, *Thalassiosira curviseriata*가 각 우점율 24.8%와 21.3%로 높았다. 기타 낮은 우점율이지만 표·저층 모두 중심규조, *Leptocylindrus danicus*와 우상규조, *A. glacialis*가 우점하여 수층간 우점종 차이는 없었다(Table 2). 봄은 상대적으로 낮은 우점율로 다양한 우점종이 출현하였다. 최우점종은 *S. costatum*-ls가 표·저층에서 각 12.6%와 14.1%의 우점율을 보였다. 기타 우점종은 표층에 우상규조, *Thalassionema nitzschioides*와 중심규조, *L. danicus*가 우점율 10% 이상을 차지한 반면, 저층은 유독 우상규조인 *Pseudo-nitzschia pungens*와 가을과 겨울에 최우점종인 *E. zodiacus*, 그리고 *T. nordenskioldii*가 우점율 10% 이상으로 출현하였다. 기타는 *Ch. curvisetus*, *Ch. affinis*, *Guinadia flaccida*와 *Guinadia striata*가 4%대 우점율을 보였다.

남해 중앙부 연안해역의 우점종은 한국 연안에서 비교적 쉽게 관찰되는 종이다. 그러나 봄에 우점한 *Skeletonema costatum*-ls는 부영양화가 진행된 연안과 내만해역에 대표적인 종으로 적조를 형성하기도 하고 광양만 및 주변 해역에 연중 우점하며, 때에 따라서는 극우점현상이 보

Table 2. Seasonal succession of dominant species and dominance in the CWoCSS

| Seasons                          | Dominant Species                    | Dominance (%) |        |
|----------------------------------|-------------------------------------|---------------|--------|
|                                  |                                     | Surface       | Bottom |
| Summer<br>(July 30,<br>2012)     | <i>Chaetoceros curvisetus</i>       | 26.4          | 28.4   |
|                                  | <i>Chaetoceros debilis</i>          | 8.5           | 17.2   |
|                                  | <i>Chaetoceros affinis</i>          | 6.2           | -      |
|                                  | <i>Pseudo-nitzschia pungens</i>     | 4.9           | -      |
|                                  | <i>Chaetoceros didymus</i>          | 4.1           | -      |
|                                  | <i>Skeletonema costatum</i> -ls     | -             | 6.9    |
|                                  | <i>Asterionelopsis glacialis</i>    | -             | 4.9    |
| Autumn<br>(November 19,<br>2012) | <i>Eucampia zodiacus</i>            | 75.2          | 66.4   |
|                                  | <i>Ch. curvisetus</i>               | 4.3           | 6.2    |
|                                  | <i>Thalassiosira nordenskioldii</i> | -             | 8.6    |
| Winter<br>(February 14,<br>2013) | <i>E. zodiacus</i>                  | 36.2          | 31.5   |
|                                  | <i>Thalassiosira curviseriata</i>   | 24.8          | 21.3   |
|                                  | <i>Leptocylindrus danicus</i>       | 5.5           | 5.5    |
|                                  | <i>A. glacialis</i>                 | 4.7           | 4.6    |
| Spring<br>(April 15,<br>2013)    | <i>S. costatum</i> -ls              | 12.6          | 14.1   |
|                                  | <i>Thalassionema nitzschioides</i>  | 10.7          | 6.4    |
|                                  | <i>L. danicus</i>                   | 10.6          | 7.7    |
|                                  | <i>Th. nordenskioldii</i>           | 9.4           | 11.2   |
|                                  | <i>E. zodiacus</i>                  | 7.8           | 10.0   |
|                                  | <i>Pn. pungens</i>                  | 7.6           | 13.7   |
|                                  | <i>Ch. curvisetus</i>               | 7.2           | 4.9    |
|                                  | <i>Guinadia flaccida</i>            | 4.2           | 4.3    |
|                                  | <i>Ch. affinis</i>                  | -             | 4.7    |
|                                  | <i>Guinadia striata</i>             | -             | 4.1    |

이기도 한다[18]. 이 종은 최근까지 *Skeletonema* 속에 *S. costatum* 단일종이 존재하는 것으로 알려져 있었지만, 2000년 이후 전자현미경에 의한 미세구조의 해석에서 이 속에는 10여종 이상의 종으로 구성되는 것이 보고되었다[31-34]. 그러나 현재에도 생태를 연구하는 입장에서는 이들 종의 세부적 분류보다 이전의 통합적 표현이 그대로 사용되는 경우가 많기에 여기서는 유사종으로 통합하였다. 또한 여름 저층에서 낮은 우점율이나마 우점 출현하는 *Asterionelopsis glacialis*는 한국 연안해역에서 주로 저수온기에 우점종으로 출현한다. 그럼에도 불구하고 여름 남해 중앙부 저층에 우점 출현하는 것은 이곳에 저수온수가 유입되는 것을 반증하는 결과로 판단되었다 [4, 35]. 그리고 봄 우점종으로 출현한 *Guinadia flaccida*와 *Guinadia striata*은 남해의 득량만[30]이나 개방해역 [20]에서 우점 출현하기도 하지만, 기타 연안해역에서 우점 출현하는 것은 이례적이다[25].

### 3.2 Chlorophyll a 농도

2012년 여름에서 2013년 봄까지 4계절 동안 남해 중

양부 연안해역에서 측정된 Chl-*a* 농도는 여름 0.32  $\mu\text{g/L}$ (표층)에서 겨울 5.59  $\mu\text{g/L}$ (저층)의 범위로 변화하였다. 시·공간적으로는 표층의 경우, 여름이 0.32 ~ 4.93  $\mu\text{g/L}$ 의 범위에서 1.60  $\pm$  1.38  $\mu\text{g/L}$ 의 변동 폭을, 가을이 0.33 ~ 3.21  $\mu\text{g/L}$ 의 범위에서 1.25  $\pm$  0.72  $\mu\text{g/L}$ 의 변동 폭, 겨울은 0.34 ~ 4.08  $\mu\text{g/L}$ 의 범위에서 1.39  $\pm$  1.08  $\mu\text{g/L}$ 의 변동 폭을, 그리고 봄은 0.71 ~ 2.76  $\mu\text{g/L}$ 의 범위에서 1.45  $\pm$  1.38  $\mu\text{g/L}$ 의 변동 폭으로 식물플랑크톤 현존량과는 달리 봄과 여름에 높고, 가을에 낮았다. 그러나 계절에 따른 농도의 변화는 크지 않았고, 정점 사이의 변화는 가을에 가장 균일한 특성을 보였다(Fig. 6).

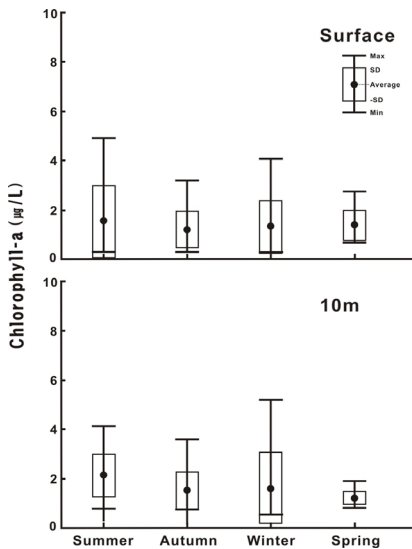


Fig. 6. Temporal variations of chlorophyll *a* concentration in the CWoCSS.

저층은 정점에 따른 수심이 매우 불규칙하기에 생략하고, 모든 정점에서 공통으로 측정된 5m 수심의 Chl-*a* 농도로 제시하였다. 즉 5m 수층은 여름 0.66 ~ 5.02  $\mu\text{g/L}$  범위에서 1.82  $\pm$  1.23  $\mu\text{g/L}$  변동 폭을, 가을은 0.79 ~ 4.70  $\mu\text{g/L}$  범위에서 1.42  $\pm$  1.05  $\mu\text{g/L}$  변동 폭을, 겨울은 0.54 ~ 4.40  $\mu\text{g/L}$  범위에서 1.48  $\pm$  1.21  $\mu\text{g/L}$  변동 폭을, 그리고 봄은 0.79 ~ 3.41  $\mu\text{g/L}$  범위에서 1.64  $\pm$  0.69  $\mu\text{g/L}$  변동 폭으로 표층보다 다소 높은 Chl-*a* 농도를 보였다(Fig. 6).

Chl-*a* 농도의 시·공간분포는 여름 표층에서 여수해만 입구, 앵강만 및 남해도 남동부인 진주만 입구해역에서 1.0  $\mu\text{g/L}$  이상으로 높은 농도를, 그리고 중앙부 개방

해역에서 1.0  $\mu\text{g/L}$  이하로 낮았다. 특히 오동도와 돌산도 연안에서는 3.0  $\mu\text{g/L}$  이상 높은 농도를 보였다. 저층은 전체적으로는 표층보다 높은 농도로 표층의 높은 농도를 보였던 해역보다 중앙부 개방해역에서 2.0  $\mu\text{g/L}$  이상으로 높았다(Fig. 7). 가을 표층은 앵강만에서 2.0  $\mu\text{g/L}$  이상으로 높은 농도를, 중앙부 개방해역에서 1.0  $\mu\text{g/L}$  전후로 낮았다. 저층은 앵강만과 중앙부 개방해역에서 표층보다 0.5 ~ 1.0  $\mu\text{g/L}$  높은 농도를 제외하면, 표층과 유사하였다(Fig. 7). 겨울 표층은 중앙부 개방해역에서 1.0  $\mu\text{g/L}$  이하로 낮은 농도를, 내만해역에서 1.0  $\mu\text{g/L}$  이상으로 상대적으로 높았다. 특히 앵강만과 여수연안에는 2.0  $\mu\text{g/L}$  이상을, 여수반도와 돌산도 인근해역에서는 3.0  $\mu\text{g/L}$  이상으로 높은 농도를 나타내었다. 저층도 전체적으로 표층보다 다소 높은 농도로서 표층의 낮은 농도를 보였던 중앙부 남동해역에서 1.0  $\mu\text{g/L}$  전후의 농도, 앵강만에서 3.0  $\mu\text{g/L}$  이상. 그리고 여수반도와 돌산도의 인접해역에서 4.0  $\mu\text{g/L}$  이상으로 높은 농도를 보였다(Fig. 7). 봄 표층은 남해 중앙부 연안해역에서 1.5  $\mu\text{g/L}$  전후의 농도로 균일한 특성을 보이지만, 여수와 돌산도 인접해역에서 2.0  $\mu\text{g/L}$  이상으로 높은 농도를, 기타 개방해역과 앵강만에서 1.0  $\mu\text{g/L}$  전후로 낮았다. 저층은 중앙부 개방해역에서 1.5 ~ 2.0  $\mu\text{g/L}$ 의 농도를 여수해만 입구에서 2.0  $\mu\text{g/L}$  이상, 그리고 앵강만과 중앙부 연안해역에서 1.5  $\mu\text{g/L}$  이하로 낮았다(Fig. 7).

남해 중앙부 연안해역에서 Chl-*a* 농도가 표층보다 5 ~ 10m 수심에서 Chl-*a* 농도가 높은 것은 계절에 따라 원인도 차이를 보인다. 즉 고수온기는 식물플랑크톤 현존량에서 보이는 것처럼 일사량 증가에 의해 일부 출현종에 광 저해[36-39]가 발생하는 것과 식물성 편모조류의 일주연직운동[40,41] 때문에 표층보다 다소 깊은 곳에 식물플랑크톤 최대밀도 층이 형성된다. 그러나 수온 하강기 및 저수온기는 표층보다 저층에 보다 밀도가 높으면서 수온이 높은 따뜻한 해수가 존재하기 때문으로 판단할 수 있었다.

### 3.3 남해 중앙부 연안해역의 생물해양학적 환경특성

식물플랑크톤 우점종을 대상으로 계산된 주성분분석에서 누적기여율은 봄을 제외하면 모두 제2주성분까지로 65% 이상을 나타내고 있기 때문에 각 주성분에 대한 인자부하량 및 특점은 제2주성분까지의 결과로 고찰하



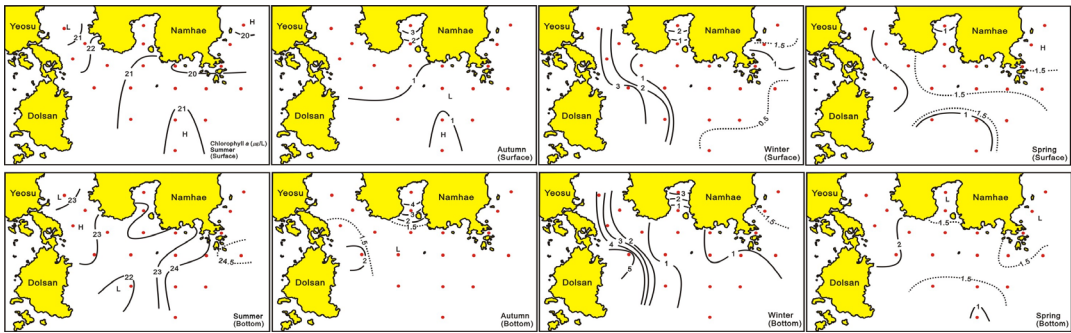


Fig. 7. Spatio-temporal distributions of chlorophyll a concentration in the CWoCSS.

였다. 여름 주성분분석 결과는 누적기여율 79.0%를 나타내는 제3 주성분까지로  $Z = 4.982Z_1 + 1.884Z_2 + 1.038Z_3$ 로 계산되었다. 제1 주성분의 기여율은 49.8%로 비교적 높았으며, 제2 주성분까지 기여율은 68.6%로 2/3 이상의 특징값이 제1 및 제2 주성분에 집약되었다(Table 3). 가을은 누적기여율 74.8%를 나타내는 제2 주성분까지로  $Z = 3.046Z_1 + 1.441Z_2$ 로 계산되었다. 제1과 제2 주성분까지 기여율은 74.8%로 매우 높게 특징값이 집약되었다(Table 3). 겨울은 비교적 다양한 우점종이 출현하지만, 제3주성분까지 누적기여율 77.4%를 나타내었다. 즉 주성분분석 결과  $Z = 4.939Z_1 + 1.587Z_2 + 1.212Z_3$ 로 계산되었다. 제1 주성분의 기여율 49.4%, 그리고 제2 주성분의 기여율이 15.9%로 제1과 제2 주성분의 누적기여율이 65.3%로 전체 특징값의 2/3 이상을 집약하였다(Table 3).

봄은 극우점하는 종이 없이 낮은 우점율로 다양한 우점종이 출현하였다. 주성분분석 결과에도 이러한 내용이 반영되어, 높은 기여율로 집약되는 특징값은 없었으며, 누적기여율 70%를 기준으로 하였을 때 제4 주성분까지 계산되지만, 제3 주성분까지를 정리하면,  $Z = 3.878Z_1 + 2.999Z_2 + 1.447Z_3$ 로 계산되었다. 기여율은 제1 주성분이 29.8%, 제2 주성분은 23.1%, 제3주성분이 11.1% 등 집약되는 주성분 특징값이 분산되어 표현되었다. 제2 주성분까지의 누적기여율은 52.9%를 나타내었다(Table 3).

인자부하량 분포에서 여름 제1주성분은 우점 규조류에 강한 양의 관계를 보이거나, 약하지만 와편모조류, *Gymnodinium catenatum*과 음의 관계를 보였다. 제2주성분은 와편모조류, *Prorocentrum triestinum*과 강한 양의 관계를, 그리고 *Chaetoceros curvisetus*와 *Ch. affinis*

그리고 *Asterionellopsis glacialis*와도 양의 관계를 보이지만, *G. catenatum* 및 *Ch. debilis*, *Ch. didymus*, *Skeletonema costatum* -ls와는 음의 관계를 보였다(Fig. 8), 가을 제1주성분은 *Eucampia zodiacus*를 비롯한 대부분 우점종과 양의 관계를, 제2주성분은 *Ch. curvisetus*와 규질편모조류 *Octactis otonaris*,

우상규조인 *Thalassionema nitzschioides* 및 중심규조인 *Thalassiosira nordenskioldii*와 양의 관계를, *E. zodiacus*와 *Chaetoceros* spp.에 음의 관계를 보였다(Fig. 8). 겨울 제1주성분은 우점 규조류와 양의 관계를, 와편모조류, *P. triestinum* 역시 약하지만 양의 관계를 보였고, 제2주성분은 *E. zodiacus*와 *Ch. curvisetus*, *A. glacialis*, *S. costatum*-ls 및 *Th. nitzschioides*와 양의 관계를, 중심규조인 *Thalassiosira curviseriata*, *Leptocylindrus danicus*, *Th. nordenskioldii*, *Chaetoceros* spp. 및 우상규조인 *Pseudo-nitzschia pungens*와 음의 관계를 보였다(Fig. 8). 봄 역시 제1주성분은 우점종 대부분과 양의 관계를, 제2주성분은 *S. costatum*-ls, *Th. nitzschioides*, *L. danicus*에 *Pn pungens*와 *Guinardia striata*가 양의 관계를 보이거나, *Th. nordenskioldii*, *Guinardia flaccida*, *Chaetoceros*

Table 3. Temporal variations of eigen value, proportion and accumulative proportion by PCA.

|                             | Principal component | Summer | Autumn | Winter | Spring |
|-----------------------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| Eigen value                 | 1st                 | 4.982  | 3.064  | 4.939  | 3.878  |
|                             | 2nd                 | 1.844  | 1.441  | 1.587  | 2.999  |
|                             | 3th                 | 1.038  |        | 1.212  | 1.447  |
| Proportion (%)              | 1st                 | 49.8   | 50.8   | 49.4   | 29.8   |
|                             | 2nd                 | 18.8   | 24.0   | 15.9   | 23.1   |
|                             | 3th                 | 10.4   |        | 12.1   | 11.1   |
| Accumulative propertoin (%) | 1st                 | 49.8   | 50.8   | 49.4   | 29.8   |
|                             | 2nd                 | 68.6   | 74.8   | 65.3   | 52.9   |
|                             | 3th                 | 79.0   |        | 77.4   | 64.0   |

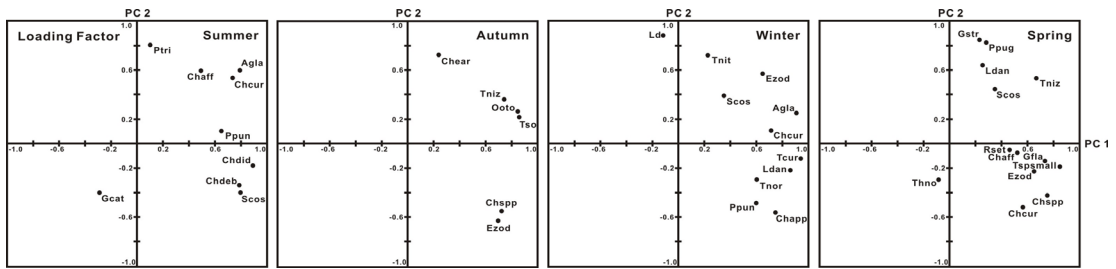


Fig. 8. Temporal variations of loading factor by principal component analysis(PCA) on the phytoplankton dominant species data. (Agl; *Asterionellopsis glacialis*, Chaff; *Chaetoceros affinis*, Chcur; *Chaetoceros curvisetus*, Chdeb; *Chaetoceros debilis*, Chdid; *Chaetoceros didymus*, Chsp; *Chaetoceros* spp., Ezod; *Eucampia zodiacus*, Gfla; *Guinardia flaccida*, Gstr; *Guinardia striata*, Gcat; *Gymnodinium catenatum*, Ldan; *Leptocylindrus danicus*, Ooto; *Octactis otonaris*, Ptri; *Prorocentrum triestinum*, Ppun; *Pseudo-nitzschia pungens*, Rset; *Rhizosolenia setigera*, Scos; *Skeletonema costatum*-ls, Tniz; *Thalassionema nitzschioides*, Tcur; *Thalassiosira curvisetiata*, Thno; *Thalassiosira nordenskioldii*)

spp. *Ch. curvisetus*, *E. zodiacus*, *Ch. affinis*, *Rhizosolenia setigera* 등과 음의 관계를 보였다(Fig. 8).

이러한 주성분분석의 인자부하량 분포로부터 남해 중앙부 연안해역에서 중심규조와 우상규조 및 외편모조류 사이에는 출현을 지배하는 환경특성에는 차이가 있어, 중간경쟁으로 상호배타적 관계가 있는 것으로 판단되며, 우상규조와 외편모조류 사이에는 상호의존적 출현 관계를 가지는 것으로 이해할 수 있었다. 이러한 결과는 동해 울진연안해역[21] 및 서해 고군산도 해역[22]의 식물플랑크톤 군집에서도 유사한 경향이 관찰되고 있다.

주성분분석의 득점분포로부터는 여름 최우점종 *Chaetoceros curvisetus* 및 제2우점종인 *Ch. debilis*로 우점되는 여수해만 및 중앙부 서쪽 연안해역(●), 그리고 *Ch. debilis* 가 우점하는 진주만 입구해역을 함한 I 그룹

(●)과 *Gymnodinium catenatum*에 의해 우점되는 중앙부 개방해역인 II그룹(■)으로 구분된다. II그룹에는 특별한 우점종이 없는 해역(◆)을 포함하였다(Fig. 9). 가을 역시 여름과 같이 최우점종 및 일부 낮은 우점종의 우점종에 우점되는 남해 중앙부 서쪽해역(●) 및 최우점종 *Eucampia zodiacus*에 우점되는 남해 중앙부 서쪽 연안해역(○)을 포함하는 I 그룹과 특별한 우점종이 없는 기타해역인 II그룹(■, ◆)으로 구분되었다(Fig. 9). 겨울은 최우점종 *E. zodiacus* 및 *Asterionellopsis glacialis*가 우점하는 오동도에서 남해도 서부를 연결하는 해역(●)과 제2우점종 *T. curviseriata*와 *Chaetoceros* spp., *Pn. pungens*가 우점하는 남해 중앙부 서쪽해역(○)를 포함하는 I 그룹과 특정 우점종 없이 다양한 생물이 출현하는 기타 해역인 II그룹(■, ◆)으로 구분되었다(Fig. 9).

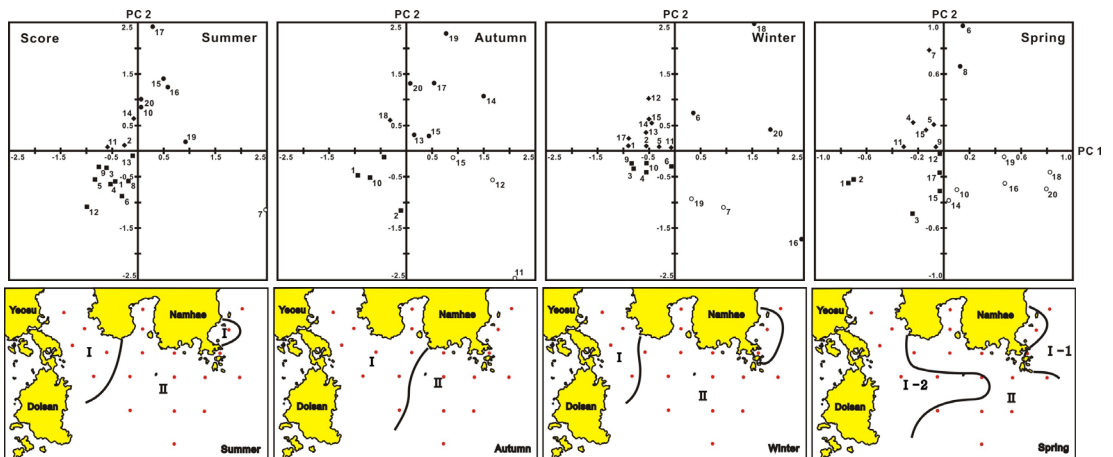


Fig. 9. Temporal variations of score by principal component analysis(PCA) and its on the phytoplankton dominant species data.

봄은 10% 이상의 우점율을 보이는 종으로 우점되는 진주만 입구해역(●) 및 낮은 우점율의 우점종으로 우점하는 중앙부 서쪽 및 여수해만해역(○)으로 구분되는 I 그룹 및 특정 우점종이 출현하지 않은 기타 해역(◆, ■)인 II 그룹으로 구분되었다. 다만 남해 중앙부개방해역 및 서부해역(■)은 소형 중심규조인 *Thalassiosira nordenskiöldii* 가 우점하였다(Fig. 9).

이와 같은 남해중앙부 연안해역이 계절에 관계없이 중앙부 서쪽해역과 중앙부 개방 및 진주만입구 해역으로 구분되는 것과 중앙부 개방해역에 외편모조류 및 소형 중심규조에 의한 우점 현상이 관찰되었다. 이러한 결과 중 남해 중앙부 서쪽과 서북쪽인 돌산연안 및 여수해만은 연중 여수해만 내만에 위치하는 섬진강 배출수와 광양만 수계의 확장을 받고 있지만[4], 중앙부 및 남해도 남동의 개방해역은 쓰시마난류, 중국대륙연안수 및 한국 고유연안수(황해저층냉수괴 포함) 등의 확장과 혼합 정도에 더욱 크게 영향을 받고 있기 때문에 생각할 수 있었다[27, 35, 42]. 이러한 결과는 남해 중앙부 해역에서 내만수와 외해수에 의해 형성되는 열전선(front)의 계절적 변화에서도 잘 나타나고 있다[1].

### 결론

남해 중앙부는 현재 여수항 및 광양항으로 입·출항하는 선박이 입항수속을 위한 정박지로 활용되고 있을 뿐만 아니라 돌산도 연안해역은 대형 정치망 어업이 활발한 해역으로 멸치, 삼치 등 회유성 어류의 섭이 및 산란장으로 활용되고 있다. 이러한 어장형성은 남해 중앙부 해역이 가지는 복잡한 해황에 의해 높은 생물생산이 이루어지고 있기 때문이다. 한편으로는 다양한 선박의 빈번한 왕래로 소형 어선과 대형 화물선 사이에 충돌사고는 물론 유류유출 사고도 빈발하는 해역이다. 때문에 이들 해역에서 다양한 해양산업을 위한 해역이용과 관리, 그리고 해양사고에 대한 신속한 대책수립을 위해서도 내만의 섬진강을 통한 담수 유입은 물론, 남해 개방해역에 영향을 미치는 쓰시마난류, 중국대륙연안수 및 황해저층냉수를 포함한 한국고유연안수의 거동에 대한 확실한 변동양상과 생물생산 기구의 파악이 우선되어야 할 것으로 판단된다.

### References

- [1] J.S. Park, Y.H. Yoon, I.H. Noh, H.Y. Soh, "A study of organic matter and dinoflagellate cyst on surface sediments in the central parts of South Sea, Korea", Korean J. Environ. Biol., vol. 23, no. 2, pp. 163-172, 2005.
- [2] T.R. Parsons, M. Takahashi, B. Hargrave, Biological oceanographic processes(3rd ed.), Pergamon Press, Oxford, pp. 1-330, 1984.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-030765-7.50006-4>
- [3] Y.H. Yoon, Red Tides - The uprising from the sea-, Gipmundang, Seoul, pp. 1-531, 2010.
- [4] Y.H. Yoon, S.A. Kim, "Seasonal variations of phytoplankton population and primary productivity in the southern coastal waters of Korea. 1. A characteristics of the distribution of chlorophyll a and water quality in the dry season in the Yeosuhae Bay and adjoining sea", J. Korean Environ. Sci. Soc., vol. 5, no. 3, pp. 347-359, 1996.
- [5] Y.S. Lee, "An influence of inflowing freshwater on the diatom blooms in the eastern coast of Dolsan, Yosu, Korea", J. Korean Soc. Environ. Eng., vol. 24, no. 3, pp. 477-488, 2002.
- [6] I.H. Noh, Y.H. Yoon, J.S. Park, I.S. Kang, Y.K. An, S.H. Kim, "Seasonal fluctuations of marine environment and phytoplankton community in the southern part of Yeosu, Southern Sea of Korea", J. Korean Soc. Mar. Environ. Eng., vol. 13, no. 3, pp. 151-164, 2010.
- [7] OSC (The Oceanographic. Society of Japan, eds), 1986, A Manual for Coastal Environmental Survey (Sediments and Biology), Kouseishakouseikaku, Tokyo, pp. 1-266, 1986.
- [8] J. Thronsdon, "Preservation and storage. In "Sournia A(ed). Phytoplankton manual, Unesco, Paris", pp. 69-74, 1978.
- [9] E.E. Cupp, "Marine plankton diatoms of the west coast of north America", Bull. Scripps Inst. Oceanogr., Univ. California, 5, pp. 1-237, 1943.
- [10] J.D. Dodge, Marine dinoflagellates of the British Isles, Her Majesty's Office, London, pp. 1-303, 1982.
- [11] M. Chihara, M. Murano, An Illustrated Guide to Marine Plankton in Japan. Tokai University Press, Tokyo, pp. 1-1574, 1997.
- [12] C.R. Tomas (ed), Identifying marine diatoms and dinoflagellates. Academic Press. Oxford, pp. 1-858, 1997.
- [13] G.M. Hallegraeff, C.J.S. Bolch, D.R.A Hill, L. Jameson, J.-M. LeRoi, A. McMinn, S. Murray, M.F. de Salas, K. Saunders, Algae of Australia, Phytoplankton of Temperate Coastal Waters, CSIRO Publishinf, Melbourne, pp. 1-421, 2010.
- [14] T. Omura, M. Iwataki, V.M. Borja, H. Takayama, Y. Fukuyo, Marine Phytoplankton of the Western Pacific, Kouseisha Kouseikaku, Tokyo, pp. 1-160, 2012.
- [15] SCOR-Unesco, 1966. Determination of photosynthetic pigments. in "Unesco(ed.), Determination of photosynthetic pigments in sea water. Paris", pp. 10-18, 1966.
- [16] Y.H. Yoon, "A environmental characteristics on phytoplankton growth in the coastal water of Yosu by multivariate analysis(MVA)", J. Korea Soc. Water Qual.,

- vol. 8, no. 3, pp. 141-149, 1992.
- [17] Y.H. Yoon, H.G. Rho, Y.K. Kim, "Seasonal succession of phytoplankton population in the Hamdok port, Northern Cheju Island", *Bull. Mar. Sci. Inst., Cheju Nat'l Univ.*, vol. 16, pp. 27-42, 1992.
- [18] Y.H. Yoon, "Marine environment and phytoplankton community in the southwest sea of Korea", In, Choi, J.K.(ed.), *The Plankton Ecology of Korean Coastal Waters*, Donghwa Tech. Publ. Co., Seoul, pp. 68-93, 2011.
- [19] Y.H. Yoon, "Seasonal dynamics of phytoplankton community and red tide organisms in the Northern Kamak bay, Southern Korea", *Bull. Mar. Sci. Inst., Yosu Nat'l Fish. Univ.*, vol. 4, pp. 1-15, 1995.
- [20] D.I. Kim, Y.H. Yoon, "Environmental characteristics based on the phytoplankton communities in the Southwest Sea of Korea early winter", *Bull. Fish. Sci. Inst., Yosu Nat'l Fish. Univ.* vol. 6, pp. 85-93, 1997.
- [21] Y.H. Yoon, "Bio-environmental characteristics of the Uljin Marine Ranching Area (UMRA), East Sea of Korea. I. Spatio-temporal distributions of phytoplankton community", *J. Korean Soc. Mar. Environ. & Ener.*, vol. 19, no. 1, pp. 37-46, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.7846/JKOSMEE.2016.19.1.37>
- [22] Y.H. Yoon, "Spatio-temporal distributions of phytoplankton community in the coastal waters of Gogunsan Islands (CoWGLs), West Sea of Korea", *J. Korea Acad.-Ind. Coop. Soc.*, vol. 16, no. 3, pp. 2287- 2300, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.3.2287>
- [23] J.K. Choi, J.H. Shim, "The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. III. Phytoplankton composition, standing crops, tychopelagic plankton", *J. Oceanol. Soc. Korea*, vol. 21, no. 3, pp. 156-170, 1986.
- [24] Y.K. Shin, "A ecological study of phytoplankton community in the Geum river estuary", *Korean J. Ecol. Environ.*, vol. 46, no. 4, pp. 524-540, 2013.
- [25] J.K. Cho (ed.), *The Plankton Ecology of Korean Coastal Waters*. Donghwa Pub. Co., Seoul, pp. 1-561, 2011.
- [26] Y.H. Yoon, "The characteristics of phytoplankton community in Wando eastern coastal waters, southwestern Korea", *Bull. Yosu Nat'l Univ.*, vol. 12, pp. 651-664, 1988.
- [27] H.K. Rho, I.C. Pang, 1995, "Seasonal variations of water mass distributions around Cheju Island". Report of the International Academic Research (04045042) on Japan/Korean Joint Study of Biogeography in and Around the Tsushima Current Regions, Nagasaki Univ., pp. 1-9, 1995.
- [28] NKK (Nippon Kishou Kyokai), *Manual on Marine Observation*. Ocranogr. Soc. Japan, pp. 1-428, 1985.
- [29] M.V.M Wafar, P. Le Corre, J.L. Birren, "Nutrients and primary production in permanently well mixed temperate coastal waters", *Est. Coast. Shelf Sci.*, vol. 17, no. 4, pp. 431-446, 1983.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(83\)90128-2](https://doi.org/10.1016/0272-7714(83)90128-2)
- [30] Y.H. Yoon, "The characteristics on the spatio-temporal distributions of phytoplankton communities in Deukryang Bay, southwestern Korea". *Korean J. Environ. Biol.*, vol. 17, no. 4, pp. 481-492, 1999.
- [31] D. Sarano, W.H.C.F. Kooistra, L.K. Medin, I. Percopo, A. Zingone, "Diversity in the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae). II. An assesment of the taxonomy of *S. costatum*-like species with the description of four new species", *J. Phycol.*, vol. 41, no. 1, pp. 151-176, 2005.  
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2005.04067.x>
- [32] D. Sarano, W.H.C.F. Kooistra, P.E. Hargraves, A. Zingone, "Diversity in the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae). III. Phyogenetic position and morphology of *Skeletonema costatum* and *Skeletonema grevillei*, with the description of *Skeletonema ardens* sp. nov", *J. Phycol.*, vol. 43, no.1, pp. 156-170, 2007.  
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2006.00305.x>
- [33] W.H.C.F. Kooistra, D. Sarano, D. Balzano, H. Gu, R.A. Andersen, A. Zingone, "Global diversity and biogeography od *Skeletonema* species (Bacillariophyta)", *Protist*, vol. 159, no. 2, pp. 177-193, 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protis.2007.09.004>
- [34] M. Yamada, "Recent studies on biodiversity and eco-physiological characteristics of the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae)", *Bull. Plankton Soc. Japan*, vol. 60, no. 1, pp. 1-11, 2013.
- [35] Y.-K. Cho, K. Kim, "Characteristics and origin of the cold water in the South Sea of Korea in summer", *J. Korean Soc. Oceanogr.*, vol. 29, no. 4, pp. 414-421, 1994.
- [36] P.J. Shaw, 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.*, vol. 216, pp. 83-94, 2001.  
DOI: <https://doi.org/10.3354/meps216083>
- [37] K. Gao, G. Li, E.W. Helbling, 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.*, vol. 83, no.4, pp. 802-809, 2002.  
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2007.00154.x>
- [38] V.E. Villafae, P.J. Janknegt, M. de Graaff, R.J.W. Visser, W.H.I. van de Pol, A.G.J. Buma, E.W. Helbling, "UVR-induced photoinhibition of summer marine phytoplankton communities from Patagonia", *Mar. Biol.*, vol. 154, no. 6, pp. 1021-1029, 2008.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-008-0993-0>
- [39] D.J. Gerla, W.M. Mooij, J. Huisman, "Photoinhibition and the assembly of light-limited phytoplankton communities", *Oikos*, vol. 120, no. 3, pp. 359-368, 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18573.x>
- [40] S.U. Gerbersdorf, H. Schubert, "Vertical migration of phytoplankton in coastal waters with different UVR transparency", *Environ. Sci. European Level*, 23:36 (pp. 1-14), <http://www.enveurope.com/content/23/1/36>, 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/2190-4715-23-36>
- [41] I. Shulman, B. Penta, M.A. Moline, S.H.D. Haddock, S. Anderson, M.J. Oliver, 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), vol. 117, Issue C1, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1029/2011JC007480>
- [42] D. Lee, "Characteristics of nutrients distribution in summer and winter in the South Sea", 「The Sea」 *J. Korean Soc. Oceanogr.*, vol. 4, no. 4, pp. 371-382, 1999.

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 산업 이용, 해역이용 및 관리, 그리고 환경보전