



울릉도 연안에서 식물플랑크톤 우점종의 현존량 및 생체량 변동

권오윤* · 강정훈† · 윤성진**

한국해양과학기술원(*연구사업인력 · †책임연구원 · **선임연구원)

Variation of Standing Crops and Biomass on Phytoplankton Dominant Species in the Coastal Waters of Ulleungdo island, Korea

Oh-Youn KWON* · Jung-Hoon KANG† · Sung-Jin YOON*

Korea Institute of Ocean Science & Technology (*project based research scientist · †principal research
scientist · ** senior research scientist)

Abstract

In order to understand variation of standing crops and biomass of phytoplankton, we investigated seasonally phytoplankton community in the coastal waters of Ulleungdo island in 2015. Phytoplankton community were dominated by *Chaetoceros curvisetus* (19.04%), *C. socialis* (13.12%), *Skeletonema* spp. (7.47%), *C. compressus* (6.87%) and *Asterionellopsis glacialis* (5.02%) in standing crops during the study. Whereas, *Ditylum brightwellii*, *Guinardia striata*, *Rhizosolenia* spp. and *Skeletonema* spp. were dominant in terms of biomass. As based on cell sizes, dominant groups were divided into micro- and nanophytoplankton (standing crops) and mesophytoplankton (biomass). Among the dominant species, *Skeletonema* spp. which is dominant in terms of standing crops and biomass, occurred consistently in the coastal waters of Ulleungdo island during the study.

Key words : Standing crops, Biomass, Phytoplankton, Ulleungdo

I. 서론

해양생태계에서 식물플랑크톤은 일차생산자로서 생태계 내에서 환경 요인의 변화에 매우 민감한 반응을 나타내 이들의 군집구조를 파악하는 것은 해역의 특성을 평가하는 중요한 자료로 이용된다(Raymont, 1980). 특히 우리나라와 같이 4계절이 뚜렷한 온대해역의 경우, 식물플랑크톤 군집은 계절에 따라 천이양상을 보이며, 우점종 또한 다양한 변화를 보인다. 기존 식물플랑크톤

의 우점종에 관한 연구는 다양한 해역에서 이루어져 왔다. 서해에서는 경기만에서 식물플랑크톤 군집의 변화(Choi and Shim, 1986), 시화호 주변 해역의 일차생산력(Chio et al., 1997), 아산만에서 식물플랑크톤 크기별 변화양상(Yi et al., 2005; Hyun et al., 2006) 등의 연구가 진행되었다. 남해에서는 득량만(Lee and Lee, 1999)과 여자만(Lee and Youn, 2000)에서 수질과 식물플랑크톤과의 관계, 남해 연안의 식물플랑크톤 군집 변화(Lim et al., 2003)와 출현(Cho et al., 2006), 통영해역에

† Corresponding author : 055-639-8517, jhkang@kiost.ac.kr

* 본 논문은 한국해양과학기술원의 연구비(과제번호: PE99604) 지원으로 수행되었습니다.

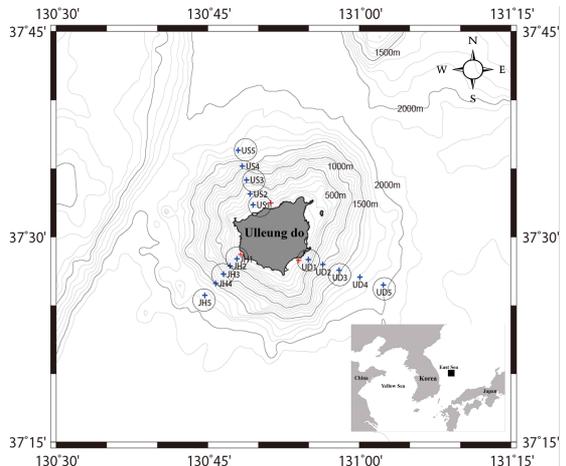
서 동·식물플랑크톤 분포(Lee et al., 2001) 및 환경요인에 따른 식물플랑크톤 현존량의 변화(Jung et al., 2007) 등이 연구되었다. 동해에서는 고리, 월성, 울진에서 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성(Kang and Choi, 2002), 동해 축산항 연안의 식물플랑크톤 출현양상(Kang et al., 2005) 등의 보고가 있다. 이러한 연구의 대부분은 연안역에서 수행되었고, 외양역에서의 조사는 거의 이루어지지 않았다. 또한 대부분의 연구에서 식물플랑크톤 현존량 및 군집구조를 바탕으로 조사해역의 특성을 파악하였고, 상대적으로 생체량(탄소량)에 대한 연구는 빈약한 실정이다. 본 연구는 외양의 특성을 가지는 울릉도 주변 해역에서 식물플랑크톤 군집에 우점종이 차지하는 중요성을 규명하고 계절적 천이양상을 밝히며, 현존량과 생체량의 관계를 파악하여 조사해역의 생태계의 구조를 이해하는데 그 목적이 있다. 추후 우점종과 울릉도 주변해역의 고유의 물리환경 자료와의 연관성을 파악해 생태계 정보에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

본 조사는 2014년 5월부터 2015년 11월까지 계절별로 울릉도 주변 3개 라인 표층에서 수행하였다(Fig. 1). 식물플랑크톤의 채집은 표층에서 니스킨 채수기를 이용하여 채수한 후 선상에서 루골용액을 이용해 최종농도 1% 고정하여 실험실로 운반하였다. 시료는 24시간이상 침전시킨 후 상등액을 버리고 농축하였다.

정량분석은 농축된 시료를 균일하게 섞은 후 Sedwick Counting Chamber를 이용해 광학현미경(Zeiss Axioskop 40) 100배하에서 계수한 후 cells L⁻¹의 단위로 환산하였다. 정성분석은 농축된 시료를 슬라이드 글라스 위에 놓고 광학현미경의 400-1,000배하에서 동정 및 크기를 측정하였다. 우점종은 전체 출현한 현존량에서 5% 이상 출현

한 종으로 하였으며, 우점종의 선정 기준에 속하지 않더라도 계절 특이적으로 높은 현존량으로 출현한 종들은 추가적으로 선정하였다. 생체량(탄소량)은 Sun and Liu(2003)에 따라 각 종들의 부피를 측정하여 Strathmann(1967)에 의해 탄소량을 구한 후, 전체 현존량에 대입하여 생체량을 계산하였다. 이렇게 측정된 생체량을 가지고 현존량의 우점종 선정 방법에 의거, 전체 평균 5% 이상 차지한 종들을 우점종으로 하였다. 각 우점종들의 현존량과 생체량에 따른 관계는 선형 회귀분석 및 상관분석을 실시하였으며, SPSS 12.0 통계 프로그램을 이용하여 분석하였다.



[Fig. 1] A map showing the sampling stations in the coastal water of Ulleungdo, Korea.

III. 결과

1. 출현 분류군 및 종조성

조사기간 동안 출현한 식물플랑크톤 군집은 규조류 188종, 와편모조류가 32종, 규질편모조류 2종과 유글레나조류 1종으로 총 223종이 출현했다. 이 중 규조류가 가장 많이 출현하였고(84.84%), 다음으로 와편모조류(12.83%)였다. 계절별 출현 종수는 봄철에 133종, 여름철에 187종, 가을철에 173종, 겨울철에 117종으로 여름철에

가장 다양하게 출현하였다(<Table 1>).

<Table 1> Seasonal number and ratio of species observed in phytoplankton communities at the coastal waters around Ulleungdo

Taxa	Spring (%)	Summer (%)	Autumn (%)	Winter (%)
Diatoms	112 (84.21)	144 (77.01)	150 (86.71)	107 (91.45)
Dinoflagellates	19 (14.29)	39 (20.86)	18 (10.40)	7 (5.98)
Silicoflagellates	2 (1.50)	3 (1.60)	4 (2.31)	3 (2.56)
Euglenoids	- (0.00)	1 (0.53)	1 (0.58)	- (0.00)
Total	133 (100)	187 (100)	173 (100)	117 (100)

2. 식물플랑크톤 현존량에 따른 우점종

규조류인 *Chaetoceros curvisetus* (18.01%), *Chaetoceros socialis* (12.95%), *Skeletonema* spp. (8.39%), *Chaetoceros compressus* (6.87%), *Asterionellopsis glacialis* (5.02%)가 우점종으로 나타났다. 최우점종인 *C. curvisetus*는 평균 6.08×10^4 cells L⁻¹를 보였고, 가을철에 평균 8.07×10^4 cells L⁻¹로 가장 높은 현존량을 나타냈고, 상대적으로 봄철과 겨울철에 각각 평균 1.08×10^4 cells L⁻¹와 0.86×10^4 cells L⁻¹로 낮았다.

*C. socialis*는 평균 4.87×10^4 cells L⁻¹를 나타냈고, 다른 계절에 비해 가을철에 평균 8.06×10^4 L⁻¹(11.13%), 겨울철에 3.06×10^3 cells L⁻¹(10.58%)로 가을철에 가장 높은 현존량을 보였다. *Skeletonema* spp.는 평균 2.98×10^4 cells L⁻¹로 나타났고, 봄철에 7.29×10^2 cells L⁻¹(0.61%), 여름철에 4.83×10^3 cells L⁻¹(2.59%), 가을철에 5.16×10^4 cells L⁻¹였으며, 겨울철에는 높은 빈도로 출현하였다. *C. compressus*는 평균 2.15×10^4 cells L⁻¹로 여름철에 높게 나타났다. *A. glacialis*는 평균 1.43×10^4 cells L⁻¹로 나타났다. 계절별로는 *Skeletonema* spp.의 변동과 같이 가을철에 평균 3.11×10^4 cells L⁻¹로 가장 높은 현존량을 보였으며, 가을철(6.71%)과 겨울철(5.13%)에 높은 우점율을 보였다.

3. 식물플랑크톤 생체량에 따른 주요종

식물플랑크톤 전체 생체량의 평균 5% 이상을 보인 주요종은 *Ditylum brightwellii*, *Rhizosolenia* spp.와 chain form을 이루는 소형 및 미소식물플랑크톤 *Guinardia striata* 및 *Skeletonema* spp.가 $16.77 \mu\text{gC L}^{-1}$ 로 26.45%를 차지하였다. 이 종들의 계절별 평균은 봄철에 $19.53 \mu\text{gC L}^{-1}$ (34.88%)를, 여름철에 $13.02 \mu\text{gC L}^{-1}$ (17.47%), 가을철에 $25.97 \mu\text{gC L}^{-1}$ (32.20%), 겨울철에 $1.32 \mu\text{gC L}^{-1}$ (15.19%)로 가을철에 높았다.

또한 각 계절별로 높은 생체량을 보인 종들은 *L. danicus*가 봄철에 높은 현존량과 같이 생체량에서도 26.48%를 차지하였고, 여름철에는 *G. impudicum* (28.52%)과 *Alexandrium* sp. (11.48%)의 외편모조류가 높은 생체량을 보였다. 겨울철에는 *Pleurosigma* sp.가 9.97%를 나타내었다.

<Table 2> Comparison of dominant rate between standing crops and biomass of phytoplankton in the coastal waters around Ulleungdo

Dominant species	Dominant rate	
	Standing crops (%)	Biomass (%)
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	18.01	4.16
<i>Chaetoceros socialis</i>	12.95	0.05
<i>Skeletonema costatum</i>	8.39	5.02
<i>Chaetoceros compressus</i>	6.87	0.25
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	5.02	0.69
<i>Ditylum brightwellii</i>	0.45	10.35
<i>Guinardia striata</i>	0.79	7.02
<i>Rhizosolenia</i> spp.	0.98	2.30

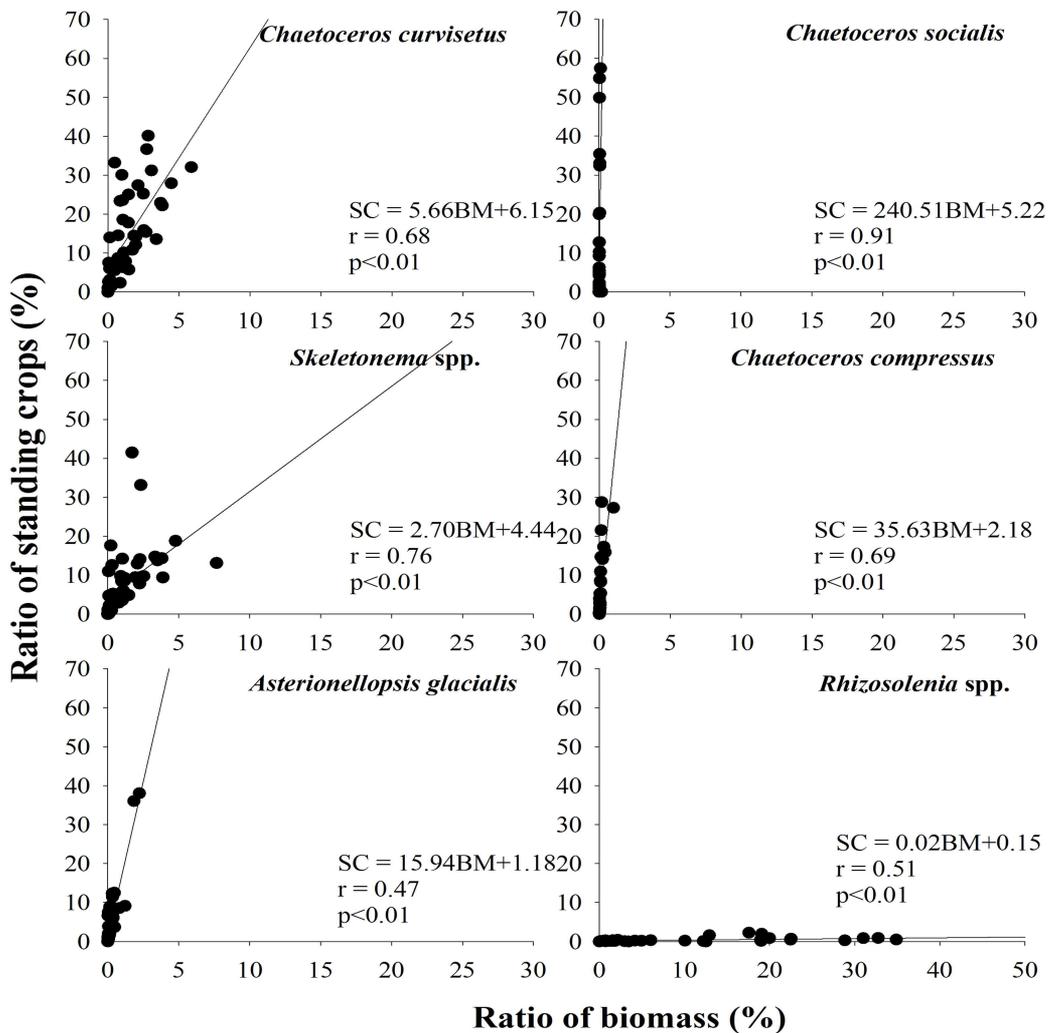
4. 현존량 및 생체량에 따른 식물플랑크톤 우점종의 비교

C. curvisetus, *C. socialis*, *C. compressus*, *Skeletonema* spp., *A. glacialis*는 전체 전체 현존량의 51.25%를 차지하였으나, 생체량에서 10.17%를 나타내었다. 반대로 생체량에 따른 우점종인 *D. brightwellii*, *G. striata*, *Rhizosolenia* spp.가 생체량

에서 19.67%를 차지하였으나, 현존량에서는 2.22%로 좋은 대조를 보였다(<Table 2>). 크기별 식물플랑크톤 및 우점종간의 현존량 및 생체량에 따른 상관계수는($p<0.05$) 소형 및 중형식물플랑크톤이 각각 0.516 및 0.529를 보였고, 미소식물플랑크톤이 0.476으로 상대적으로 낮았다([Fig. 2]). 우점종들의 상관계수는 *A. glacialis*가 0.974, *G. striata*가 0.902, *D. brightwellii*가 0.821로 높았으

며, *C. socialis*가 0.636와 *Rhizosolenia* spp.가 0.630을 보였다.

생체량에 의한 현존량의 선형회귀분석 결과, 식물플랑크톤의 크기가 클수록 현존량에 낮은 기여도를 보였고, 반면, 크기가 작을수록 높은 기여도를 하였다. 특히 미소식물플랑크톤인 *C. socialis*는 생체량이 현존량의 변동에 가장 큰 영향을 미쳤다.



[Fig. 2] Ratio between standing crops and biomass of dominant species in phytoplankton community. SC: standing crops, BM: Biomass.

IV. 고찰

식물플랑크톤 군집은 해역 특성에 따라 크기 및 분류군별 조성이 다르게 나타난다. 일반적으로 온대지역의 연안해역에서는 소형식물플랑크톤(micro-) 및 미소식물플랑크톤(nano-phytoplankton)이 높은 출현을 보인 반면, 외양에서는 초미소식물플랑크톤(pico-phytoplankton)이 높은 생산력을 차지하고 있다(Beers and Stewart, 1971; Cermeño et al., 2006). 우리나라 연안에서는 소형 및 미소식물플랑크톤이 높은 출현을 보이고 있다(Shim et al., 1991; Lee et al., 2000). Shin et al.(1990)에 의하면, 서해 천수만에서 미소식물플랑크톤이 전체 개체수의 평균 66%를 차지하며, 엽록소-*a*의 농도는 평균 64%를 차지하고 있었다. 본 연구에서도 2 μm 이상의 식물플랑크톤이 전체 현존량의 80% 이상을 차지하고 있었으며, 식물플랑크톤 크기별 엽록소-*a* 농도를 측정된 결과, 각 계절별 차이를 보이고 있었으나, 평균 소형 식물플랑크톤의 엽록소-*a* 농도가 79.90%를 차지하였다. Ansotegui et al.(2003)은 Urdaibai estuary(Northern Spain)에서 본 연구결과와 유사하게 소형 및 미소식물플랑크톤이 80% 이상을 보인다는 결과를 보고하였다. 그러나 해역 특성에 따라 크기별 식물플랑크톤 군집이 다르게 나타나고 있다. 따라서 각 식물플랑크톤 군집의 출현양상은 해양환경의 특성에 따라 차이를 보이고 있으며, 울릉도 주변 해역은 소형 및 미소식물플랑크톤이 전체 식물플랑크톤 군집에 미치는 영향이 절대적이었다. 규조류는 연안 해역에서 가장 높은 생산력을 차지하는 식물플랑크톤으로 높은 현존량 및 종 다양성을 보이고 있다(Round et al., 1990). *C. curvisetus*는 온대부터 열대해역까지 빈번히 출현하는 연안성 종으로(Shevchenko et al., 2006), 우리나라에서는 남해 진해만(Yoo and Lee, 1979), 남서해역(Cho and Choi, 2005; Shim and Lee, 1983), 남해 해역(Park and Lee, 1990), 남해 해창

만(Yoon, 2000), 동해 고리해역(Shim et al., 1991)에서 가을철에 높은 현존량을 보여, 본 연구결과와 유사하였다. *C. socialis*는 북온대 연안해역에서 널리 분포하는 종으로(Sieracki et al., 1998), 극지의 저온 수계에서도 우점하는 종으로도 알려져 있다(Grøntved and Seidenfaden, 1938). 우리나라에서 *C. socialis*의 출현양상은 남해연안에서 가을철의 높은 출현을 보였다(Shim and Lee, 1983). 그러나 고리, 월성 연안해역에서는 봄철과 여름철에 높은 현존량을 보였다(Kang et al., 2002). 따라서 본 종은 우리나라 연안에서 각기 다른 출현 특성을 보이고 있었다. *C. compressus*는 온대 연안성으로(Furuya and Marumo, 1983), 우리나라 전 연안해역에서 출현하는 종이며, 가을철 여자만에서도 높은 출현빈도를 나타내어(Lee and Yoon, 2000), 본 조사와 유사한 경향을 보였다. *Skeletonema costatum*은 광온, 광염성으로 기수역과 연안해역에 널리 분포하는 범존종으로(Werner, 1977), 본 조사에서도 전 계절에 걸쳐 출현하였으며, 특히 가을철에서 겨울철에 높은 우점을 보였다. 겨울철에 우점한 *A. glacialis*는 북 온대 연안해역에서 주로 출현하며, 가을철부터 봄철까지 저수온기에 출현하는 특성을 가지고 있다(Smayda, 1980). 우리나라에서도 가을철 및 겨울철에 높은 출현빈도를 보이고 있었으며(Shim et al., 1984; Choi and Shim, 1986), 본 연구 결과도 저수온기시에 우점하였다. 봄철에 특이적으로 우점한 *L. danicus*는 혐염성의 일시 플랑크톤으로 주로 표층에서 대발생하는 종으로 알려져 있다(Brunel, 1962; Werner, 1977). 이 종은 봄철 마산만에서 높은 출현빈도를 보였으며(Yoo and Lee, 1979), 통영연안에서 봄철에 우점을 하였다(Kang et al., 1999). 겨울철에 우점한 *Thalassionema nitzschioides*는 연안 및 부유성 종으로(Hendey, 1964), 극한대에서도 출현이 보고되고 있다(Riley, 1967). 우리나라에서 *T. nitzschioides*는 봄철에 금강 및 군산 연안에서 높은 출현을 보였고(Shim and Yang, 1982), 여름철에는 동해안에서 주요 출

현종으로 기록되어(Park et al., 1990), 계절 특이성을 보이지 않았다. *P. sulcata*는 저서성 규조류로 낮은 광도와 수온, 염분에 대한 내성이 강하며 수괴의 혼합에 의하여 일시 부유하는 종으로 알려져 있다(Werner, 1977). 본 연구에서는 겨울철에 우점하였고, 서해에서 겨울철에 대표적 우점종으로 보고되었다(Choi and Shim, 1986). 위와 같이 울릉도 주변 해역에서의 주요 우점종들은 북온대 연안에서 주로 출현하는 종들로 모두 소형 및 미소크기의 규조류가 차지하였다. 본 조사에서 현존량에 따른 주요 우점종들은 군체를 형성하고 있다. 특히 최우점한 *Chaetoceros*는 센털(setae)에 의해 군체를 형성하는 대표종으로, 크기가 작아 높은 현존량을 보이더라도 생체량에는 큰 영향을 미치지 않았다. 즉, 세포의 크기가 매우 작은 *C. socialis*와 상대적으로 큰 *D. brightwellii*, *R. hebetata*는 생체량에서 약 780배와 400배 이상의 차이를 보이고 있었으며, Shim et al. (1991)은 *C. socialis*와 *C. radiatus*, *R. hebetata* f. *hebetata*가 215배와 37배의 차이를 보고하였다. 이렇게 생체량은 개체수의 개념인 현존량보다 이를 구성하는 각각의 세포 크기에 좌우되고 있다. Shim and Shim(1989)은 미소식물플랑크톤 군집 변화에서 현존량과 생체량 사이에 상관관계가 나타나지 않으며, 일부시기에 높은 우점을 보인 소형 식물플랑크톤은 생체량과 상관관계가 있다는 것을 보고하였다. 그러나 미소식물플랑크톤인 *C. socialis*가 50% 이상의 우점을 보였던 2015년 11월에 현존량과 생체량 상관관계가 $r=0.571(p<0.05)$ 를 보였다. 따라서 *C. socialis*와 *L. danicus*와 같이 계절 특이적으로 높은 우점을 보일 시에는 미소식물플랑크톤도 현존량과 생체량의 상관성에 높게 기여하고 있었다. 또한 미소식물플랑크톤인 *Skeletonema* spp.는 현존량 및 생체량에서 높은 우점과 높은 상관성($r=0.820$, $p<0.05$)으로 본 해역에서 식물플랑크톤 군집에 영향을 미치는 주요종으로 파악되었다. 울릉도 주변 해역에서 출현한 중형식물플랑크톤인 *D. brightwellii*와

Rhizosolenia spp.는 높은 생체량을 가지는 종으로서, Booth et al.(2002)는 *C. socialis*가 현존량에서 높은 우점을 하여도, *Rhizosolenia*가 출현하면 *C. socialis*가 생체량에 의한 우점을 하지 않는다고 하였다. 따라서 본 해역에서도 *D. brightwellii*와 *Rhizosolenia* spp.는 비록 낮은 출현 개체수를 보인다 하더라도 생체량 변동에 영향을 주는 주요종으로 판단된다. 따라서, 울릉도 주변 해역에서는 현존량과 생체량에 따른 우점종은 크기에 의하여 다르게 나타났다. 현존량에서는 *C. curvisetus*, *C. socialis*등 소형 및 미소식물플랑크톤이 우점을 하였고, 생체량에서는 *D. brightwellii*, *Rhizosolenia* spp.등 중형식물플랑크톤이 우점을 하였다. 또한, 울릉도 주변 해역의 전체 식물플랑크톤 군집 중 현존량과 생체량에서 높은 비율을 차지하는 군집은 소형식물플랑크톤으로 가장 중요한 식물플랑크톤 군집으로 판단된다.

References

- Ansotegui A, Sarobe A, Trigueros JM, Urrutxurtu I and Orive E(2003). Size distribution of algal pigment and phytoplankton assemblages in a coastal-estuarine environment: contribution of small eukaryotic algae. <https://doi.org/10.1093/plankt/25.4.341>
- Beer JR and Stewart GL(1971). Micro zooplankters in the plankton communities of the upper waters of the eastern tropical pacific. Deep Sea Res 18, 861~883. [https://doi.org/10.1016/0011-7471\(71\)90061-1](https://doi.org/10.1016/0011-7471(71)90061-1)
- Booth BC, Larouche P, Bélanger S, Klein B, Amiel D and Mei ZP(2002). Dynamics of *Chaetoceros socialis* blooms in the North Water. Deep-Sea Res II 49, 5003~5025. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(02\)00175-3](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(02)00175-3)
- Brunel P(1962). Inventaire taxonomique des invertébrés marins du Golfe Saint-Laurent. Sta Biol Mar Grande-Rivière, Rapp Ann 1961, 39~44.
- Cermeño P, Maranon E, Perez V, Serret P, Fernandez E and Castro CG(2006). Phytoplankton

- size structure and primary production in a highly dynamic coastal ecosystem : Seasonal and short-time scale variability. *Estuar Coast Shelf Sci* 67, 251~266.
<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.11.027>
- Cho ES and Choi YK(2005). The characteristics of marine environment and phytoplankton community around southwestern waters for ichthyotoxic dinoflagellat *Cochlodinium polykrikoides* monitoring programme. *J Environ Sci Int*, 14(2), 177~184.
<https://doi.org/10.5322/JES.2005.14.2.177>
- Cho ES, Kim JB An KH, Yu J, Kwon JN and Jeong CS(2006). The clarification of spatial-temporal patterns of phytoplankton from Southern Korean coastal waters in 2004. *J Environ Sci Int*, 15(6), 539~562.
<https://doi.org/10.5322/JES.2006.15.6.539>
- Choi JK and Shim JH(1986). The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea III. Phytoplankton composition, standing crops, tychopelagic plankton. *J Oceanol Soc Korea* 21, 156~170.
- Choi JK, Lee EH, Noh JH and Huh SH(1997). The study on the phytoplankton bloom and primary productivity in lake Shihwa and adjacent coastal areas. *The Sea* 2(2), 78~86.
- Furuya K and Marumo R(1983). The structure of the phytoplankton community in the subsurface chlorophyll maxima in the western North Pacific Ocean. *J Plankton Res* 5, 393~406.
<https://doi.org/10.1093/plankt/5.3.393>
- Grøntved J and Seidenfaden G(1938). The Godthaab expedition 1928: the phytoplankton of the waters west of Greenland. *Meddelelser om Gronland* 82, 1~380.
- Hendey NI(1964). An introductory account of the smaller algae of British coastal waters 5: Bacillariophyceae (Diatoms). In: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food(ed.), Fishery Investigations Series IV. HMSO, London. 317.
- Hyun BK, Sin YS, Park C, Yang SR and Lee YJ(2006). Temporal and spatial variation of size-structured phytoplankton in the Asan bay. *Korean J Environ Biol* 24(1), 7~18.
- Jung SW, Kwon OY, Joo HM and Lee JH(2007). Variation of phytoplankton standing crops affecting by environmental factors in the marine ranching ground of Tongyeong coastal waters from 2000 to 2007. *Korean J Environ Biol* 25(4), 303~312.
- Kang YJ, Ko TH, Lee JA, Lee JB and Chung IK(1999). The community dynamics of phytoplankton and distribution of dinoflagellate cysts in Tongyoung Bay, Korea. *Algae* 14, 43~54.
- Kang YS and Choi JK(2002). Ecological characteristics of phytoplankton communities in the coastal waters of Gori, Wolsong, Uljin and Younggwang II. Distribution of standing crops and environmental variables (1992-1996). *The Sea* 7(3), 108~128.
- Kang YS, Choi HC, Lim JH, Jeon IS and Seo JH(2005). Dynamics of the phytoplankton community in the coastal waters of Chuksan Harbor, East Sea. *Algae* 20(4), 345~352.
<https://doi.org/10.4490/ALGAE.2005.20.4.345>
- Lee JH and Lee EH(1999). Water quality and phytoplankton red tide in Deukryang bay of Korea. *Korean J Environ Biol* 17(3), 271~278.
- Lee JH and Youn SM(2000). Water quality and phytoplankton communities in Yeoja bay of Korea. *Algae*, 15(2), 89~98.
- Lee JH, Chae JH, Kim WR, Jung SW and Kim JM(2001). Seasonal variation of phytoplankton and zooplankton communities in the coastal waters off Tongyeong in Korea. *Ocean Polar Res* 23(3), 245~253.
- Lim WA, Kang CK, Kim SY, Lee SG, Kim HG and Chung IK(2003). Short-term changes of community structure of phytoplankton in summer around Namhae island of Korea. *Algae*, 18(1), 49~58.
<https://doi.org/10.4490/ALGAE.2003.18.1.049>
- Park JS and Lee SG(1990). Distribution and species composition of phytoplankton in the Southern waters of Korea and their relation to the Character of Water mass. *Bull Korean Fish Soc* 23(3), 208~214.
- Raymont JEG(1980). Plankton and Productivity in the Oceans, Vol. 1. Phytoplankton, Pergamon Press, Oxford.
<https://doi.org/10.1002/iroh.19850700515>
- Riley GA(1967). The plankton of estuaries. In: Lauff (ed), *Estuaries*. Washington, D.C., American Association for the Advancement of Science.

- 316~328.
- Round CS(2006). Ecological of phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge, 550.
- Shevchenko OG, Orlova TY and Hernandez-Becerril DU(2006). The genus *Chaetoceros* (Bacillariophyta) from Peter the great bay, Sea of Japan. Bot Mar 49, 236~258. <https://doi.org/10.1515/BOT.2006.028>
- Shim JH and Lee WH(1983). Plankton study in the southwestern sea of Korea (I) Phytoplankton distribution in September, 1981. J Oceanol Soc Korea 18, 91~103.
- Shim JH and Shin YK(1989). Biomass of primary producer in the Chonsu Bay. J Oceanol Soc Korea 24(4), 194~205.
- Shim JH and Yang JS(1982). The community structure and distribution of phytoplankton of the Kum river estuary. J. Oceanol. Soc. Koea 17, 1~11.
- Shim JH, Shin YK and Lee WH(1984). On the phytoplankton distribution in the Kwangyang Bay. J Oceanol Soc Korea 19(2), 172~186.
- Shim JH, Yeo HG and Shin YK(1991). Ecological effect of thermal effluent in the Korean coastal waters I. Significance of autotrophic nano and picoplankton in the adjacent waters of Kori nuclear power plant. J Oceanol Soc Korea 26(1), 77~82.
- Shin YK, Shim JH, Jo JS and Park YC(1990). Relative significance of nanoplankton in Chonsu Bay: species composition, abundance, chlorophyll and primary productivity. J Oceanol Soc Korea 25(4), 217~228.
- Sieracki ME, Gifford DJ, Gallager SM and Davis CS(1998). Ecology of a *Chaetoceros socialis* Lauder patch on Georges Bank: distribution, microbial associations, and grazing losses. Oceanography 11, 30~35.
- Smayda TJ(1980). Phytoplankton species succession. In: Moris I(ed), The physiological ecology of phytoplankton. University of California Press, Berkeley, 493~570.
- Strathmann RR(1967). Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. Limnol Oceanogr 12, 411~418. <https://doi.org/10.4319/lo.1967.12.3.0411>
- Sun J and Liu D(2003). Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. J Plankton Res 25(11), 1331~1346. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbg096>
- Werner D(1977). The Biology of Diatoms. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Yi SH, Sin YS, Yang SR and Park C(2005). Seasonal characteristics of phytoplankton distribution in Asan bay. Ocean Polar Res 27(2), 149~159.
- Yoo KI and Lee JH(1979). Environmental studies of the Jinhae Bay. 1. Annual cycle of phytoplankton population 1976-1978. J Oceanol Soc Korea 14, 26~31.
- Yoon YH(2000). Distributional characteristics and seasonal fluctuations of phytoplankton community in Haechang bay, Southern Korea. J Korean Fish Soc 33(1), 43~50.

• Received : 10 September, 2018

• Revised : 02 October, 2018

• Accepted : 01 December, 2018