

2018년 이른 여름 남해 연안해역 식물플랑크톤 군집의 공간분포 특성

윤양호*, 박종식¹, 김병섭²

전남대학교 해양기술학부, ¹㈜해양수산연구개발, ²한국수산자원관리공단 남해본부

Spatial distributions of phytoplankton community in the coastal waters of South Sea, Korea during the early summer of 2018

Yang HoYoon, Jong Sick Park¹ and Byoung Sub Kim²

School of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 59626, Republic of Korea

¹Ocean Fisheries Research and Development Co., Yeosu 59677, Republic of Korea

²South Sea Branch of the Korea Fisheries Resources Agency, Yeosu 59753, Republic of Korea

*Corresponding author

Yang HoYoon

Tel. 061-659-7142

E-mail. yoonyh@jnu.ac.kr

Received: 25 April 2019

First Revised: 16 May 2019

Second Revised: 22 May 2019

Revision accepted: 22 May 2019

Abstract: For this study, we carried out a field survey on the analysis for the spatial distributions of phytoplankton community in the eleven areas of the Korean South Sea during the early summer of 2018. The results from the study showed that the phytoplankton community consisted of 56 genera and 105 species showing by diatoms with 52.4%, dinoflagellates with 40.0% and other phytoflagellates with 7.6%. The cell density of the phytoplankton ranged from 5.5 to 593.2 cells mL⁻¹. The species number and cell density of the phytoplankton were high in the eastern waters of the South Sea and low in the western one. The phytoplankton community showed the characteristics of being dominated by the diatoms except in the Geumpo of Namhae, Ocheon-dong of Yeosu and Oenarodo of Goheung. The dominant species of the phytoplankton community were the centric diatoms, *Skeletonema costatum*-like species (Is), except for the Ocheon-dong and Chungdo of Wando. However, the Ocheon-dong was dominated by toxic dinoflagellate, *Gymnodinium catenatum* by 41.1% dominance. On the other hand, Keumpo and Oenarodo was by dinoflagellate, *Tripos fusus* more than 12% dominance in the surface layer. The spatial distribution of the phytoplankton community in the coastal waters of the Korean South Sea in the early summer were determined by the supply of nutrients through precipitation.

Keywords: South Sea of Korea, phytoplankton community, *Skeletonema costatum*-Is, *Gymnodinium catenatum*, precipitation

서 론

육상에 인접한 연안해역은 유기탄소 및 기초생산을 지탱할 수 있는 각종 영양염이 많은 양으로 유입되어, 생물

해양학은 물론 환경해양학적으로도 흥미로운 영역이다 (Hopkinson *et al.* 2005; Cloern *et al.* 2014). 또한 육상에서 유입된 다양한 물질은 해양의 이화학적 작용은 물론 생물 작용에 의해 희석되거나 이동되면서 활발하게 혼합되기

점을 설정하여 표층과 저층(해저표층퇴적층에서 1~2 m 위의 수층)의 해수를 채수하여 분석하였지만, 유사한 환경 특성을 가지고 있어 이들 값을 평균하여 하나의 해역으로 표현하였다. 조사는 소형선박을 이용하여 반톤채수기(용량 3L)로 해수 500 mL를 채수하여, 현장에서 루골용액을 2%가 되도록 첨가하여 표본을 고정하였고, 루골용액의 광분해를 차단하기 위해 표본병은 알루미늄포일로 차광하였다. 차광된 표본은 실험실에서 메스실린더를 이용 각 단계에서 최소 48시간 정치시켜 500 mL→100 mL→50 mL→10 mL의 농축단계를 거쳐 50배 농축하였다(OSC 1986).

검경은 pipetman으로 농축시료 0.1 mL를 가로 및 세로로 1.0 mm 간격의 계선이 들어 있는 계수판(Rigosha, No. 5608-C)에 커버글라스를 한 다음 미분간섭장치(DIC)가 장착된 광학현미경(Nikon, Eclipse 80i)을 이용, 100X~400X 배율로 종의 동정과 계수를 실시하는 정량 및 정성분석을 실시하였다. 식물플랑크톤 종 동정은 Cupp (1943), Chihara and Murano (1997), Tomas (1997), Hallegraeff *et al.* (2010) 및 Omura *et al.* (2012) 등의 문헌과 다양한 분류논문을 참고하였다. 그리고 최근 식물플랑크톤 분류 및 분류체계는 다양한 기술의 발달로 급격하게 변화되고 있어, 종명 및 분류체계는 World Register of Marine Species (WoRMS, www.marinespecies.org)의 현 시점을 기준으로 정리하였다.

또한 식물플랑크톤 군집구조 특성을 분석하기 위한 생태지수는 출현종과 현존량자료를 이용하여 종 다양성지수(H') 및 우점도지수(D)를 정점별로 다음 계산식에 준하는 Primer program을 이용 계산하였다.

$$\text{종다양성지수} : H' = -\sum P_i \times \ln(P_i) \quad (\text{Shannon and Weaver 1963})$$

P_i : i 번째 종의 점유율

$$\text{우점도지수} : D = (Y_1 + Y_2) / Y \quad (\text{McNaughton 1968})$$

Y: 총세포수, Y_1 과 Y_2 : 첫째와 둘째 우점종 세포수

결 과

1. 종조성

이른 여름 남해 연안해역에서 관찰된 식물플랑크톤 종은 56속 105속으로 비교적 다양하였지만, 공간별로는 46.9 ± 7.4 (평균±표준편차, 이하 같음)의 변동 폭을 보였

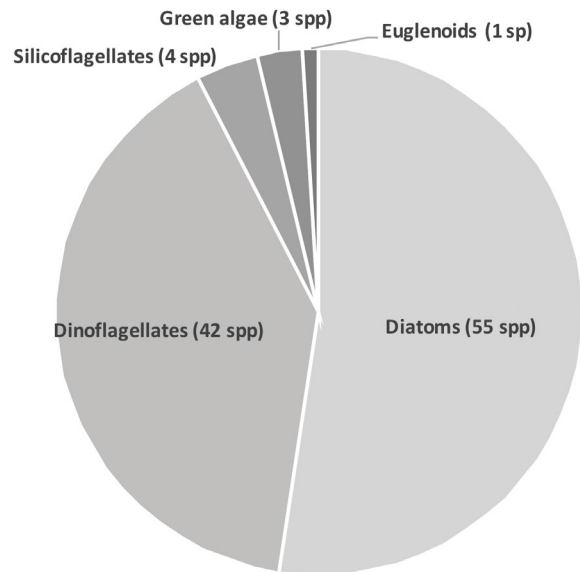


Fig. 2. The phytoplankton species composition in the coastal waters of South Sea during the early summer of 2018.

다. 분류군별은 규조류가 31속 55종으로 52.4%의 점유율을, 와편모조류는 18속 42종으로 40.0%, 규질편모조류가 3속 4종으로 3.8%, 유글레나조류가 1속 1종으로 0.9%, 그리고 담수산 녹조류가 3속 3종으로 2.9%의 점유율을 보여 규조류 및 와편모조류의 점유율이 상대적으로 높았다(Fig. 2).

해역별로는 거제 구조라 해역은 총 30속 51종에, 규조류가 19속 30종으로 60.0%, 와편모조류가 8속 17종으로 34.0%, 규질편모조류가 2속 3종으로 4.0% 그리고 유글레나조류가 1속 1종으로 2.0%의 점유율을 보였고, 거제 저구리 해역은 총 31속 54종에, 규조류가 19속 33종으로 61.1%, 와편모조류가 8속 16종으로 29.6%, 규질편모조류가 3속 4종으로 7.4%, 그리고 유글레나조류가 1속 1종으로 1.9%의 점유율을 나타내었다(Fig. 3). 통영 연대도 해역은 총 29속 57종에, 규조류가 18속 34종으로 59.6%, 와편모조류는 9속 20종으로 35.1% 그리고, 규질편모조류가 2속 3종으로 5.3%의 점유율을, 사천 신수도 해역은 총 26속 52종에, 규조류가 18속 34종으로 65.4%, 와편모조류는 7속 14종으로 26.9%, 규질편모조류가 2속 3종으로 5.8%, 그리고 유글레나조류가 1속 1종으로 1.9%의 점유율을 나타내었다(Fig. 3). 남해 금포 해역은 총 34속 53종에, 규조류가 22속 32종으로 60.4%, 와편모조류가 6속 14종으로 26.46%, 규질편모조류가 2속 3종으로 5.7%, 그리고 유글레나조류

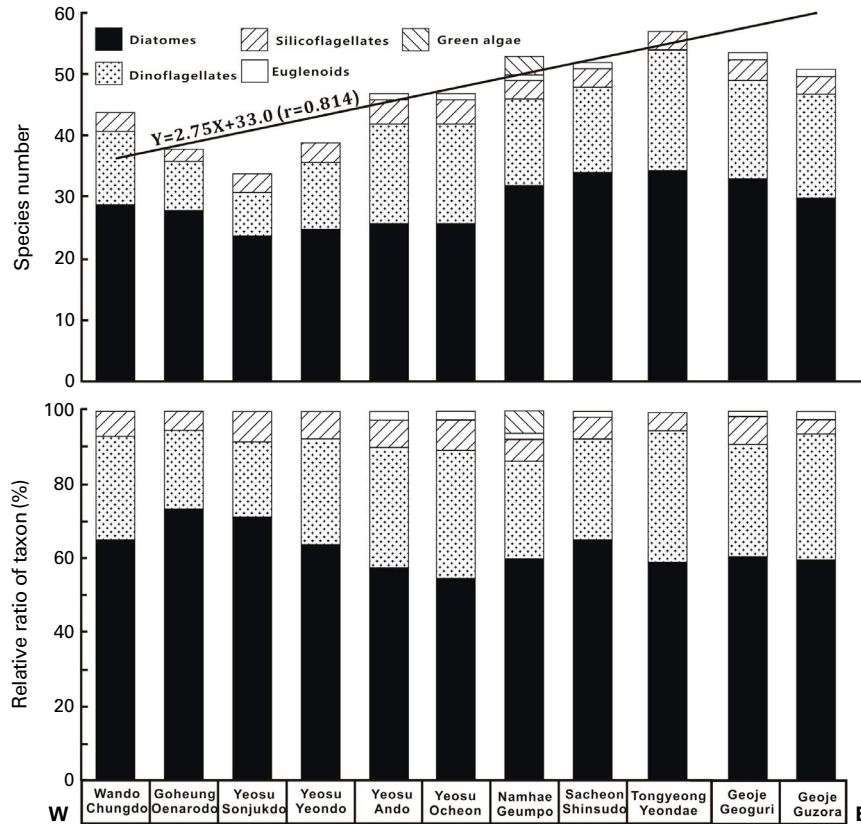


Fig. 3. The spatial fluctuations of phytoplankton species number and relative ratio of taxon in the coastal waters of South Sea during the early summer of 2018.

가 1속 1종으로 1.8%, 그리고 담수산 녹조류가 3속 3종으로 5.7%의 점유율을, 여수 오천동 해역은 총 29속 47종에, 규조류가 17속 26종으로 55.3%, 와편모조류가 8속 16종으로 34.1%, 규질편모조류가 3속 4종으로 8.5%, 그리고 유글레나조류가 1속 1종으로 2.1%의 점유율을 보였다(Fig. 3). 여수 안도 해역은 총 31속 47종에, 규조류가 17속 26종으로 58.0%, 와편모조류가 10속 16종으로 32.0%, 규질편모조류가 3속 4종으로 8.0%, 그리고 유글레나조류가 1속 1종으로 2.0%의 점유율, 여수 연도 해역은 총 26속 39종에, 규조류가 15속 25종으로 64.1%, 와편모조류가 8속 11종으로 28.2%, 그리고 규질편모조류가 3속 3종으로 7.7%의 점유율을 나타내었다(Fig. 3). 여수 손죽도 해역은 총 24속 34종에, 규조류가 17속 24종으로 71.4%, 와편모조류가 5속 7종으로 20.0%, 그리고 규질편모조류가 2속 3종으로 8.6%의 점유율을, 고흥 외나로도 해역은 총 26속 38종에, 규조류가 18속 29종으로 66.0%, 와편모조류가 6속 8종으로 21.0%, 그리고 규질편모조류가 2속 2종으로 5.3%의 점유

율을 보였고, 완도 충도 해역은 총 28속 44종에, 규조류가 18속 29종으로 65.9%, 와편모조류가 8속 12종으로 27.3%, 그리고 규질편모조류가 3속 3종으로 6.8%의 점유율을 나타내었다(Fig. 3).

즉 남해 연안에서 동부해역은 50종 이상으로 상대적으로 다양한 종이 출현하지만, 서부해역은 30~40대의 출현 종수로 상대적 낮은 종수를 보였다. 이를 서부의 충도에서 동부의 구조라까지 단순하게 회귀분석을 하면 $Y=2.75x + 33.0$ ($r=0.814$)의 유의적인 관계식이 성립되어 남해의 서부에서 동부해역으로 진행할수록 식물플랑크톤 출현 종수가 증가하였다(Fig. 3). 그리고 식물성 편모조류의 구성 비율도 해역에 따라 차이를 보여 여수 오천동 등 중앙부 해역에서 상대적으로 높고, 서쪽 해역에서 낮은 경향을 보였지만, 동부해역이 서부해역보다 높은 경향을 나타내었다(Fig. 3). 다만 제시된 회귀분석의 결과에서 정점 사이의 거리는 등 간격이 아니라는 것에 주의가 필요하다(현종량에서도 동일).

2. 식물플랑크톤 현존량

이른 여름 남해 연안해역의 세포밀도로 표현된 식물플랑크톤 현존량은 표층에서 고흥 외나로도 해역의 최솟값 5.5 cells mL⁻¹에서 사천 신수도 해역의 최댓값 593.2 cells mL⁻¹의 범위로 변화하여, 137.5 ± 173.9 cells mL⁻¹의 변동폭으로 평균보다 표준편차가 커, 해역적 차이가 매우 크게 나타났다. 해역별로는 구조라 표층은 전체 세포밀도가 87.7 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 77.0 cells mL⁻¹로 87.8%의 점유율을, 식물성 편모조류는 10.7 cells mL⁻¹로 12.2%의 점유율을 보였고, 저층은 69.9 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 62.5 cells mL⁻¹로 89.4%의 점유율을 나타내었다(Fig. 4). 저구리 표층은 109.2 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 103.5 cells mL⁻¹로 94.8%의 점유율을, 저층은 120.7 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 116.4 cells mL⁻¹로 96.4%의 점유율을 보였고, 연대도 표층은 249.7 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 237.7 cells mL⁻¹로 95.6%의 점유율을, 저층은 168.8 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 157.2 cells mL⁻¹로 93.1%의 점유율을 나타내었다(Fig. 4). 신수도 표층은 전체 세포밀도가 596.1 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 589.1 cells mL⁻¹로 98.8%의 점유율을, 저층은 144.1 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 142.0 cells mL⁻¹로 98.5%의 점유율을 보여, 남해 동부해역은 규조류에 의한 세포밀도 점유율이 88% 이상의 높은 비를 나타내었다(Fig. 4). 그러나 금포 표층은 56.2 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 38.8 cells mL⁻¹로 69.0%, 식물성 편모조류가 17.4 cells mL⁻¹로 29.0%의 점유율을 보였고, 저층은 105.6 cells

mL⁻¹에 대해 규조류가 101.3 cells mL⁻¹로 95.9%의 점유율을 보였으며, 오천동 표층은 243.8 cells mL⁻¹에 대해 식물성 편모조류가 148.1 cells mL⁻¹로 60.7%의 점유율로 규조류 39.3%보다 높았고, 저층은 159.8 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 124.7 cells mL⁻¹로 78.0%의 점유율을 보여, 식물성 편모조류의 점유율이 높은 특징을 보였다(Fig. 4). 그렇지만 안도 표층은 92.7 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 88.2 cells mL⁻¹로 95.1%의 점유율을, 저층은 46.1 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 45.3 cells mL⁻¹로 98.3%의 점유율을 보였고, 연도 표층은 31.4 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 28.6 cells mL⁻¹로 91.1%의 점유율을, 저층은 27.9 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 27.5 cells mL⁻¹로 97.4%의 점유율을 보였으며, 손죽도 표층은 20.7 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 19.4 cells mL⁻¹로 93.7%의 점유율을, 저층은 19.2 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 18.7 cells mL⁻¹로 97.2%의 점유율을 보여, 남해 동부해역보다 더 높은 90% 이상의 규조류 점유율을 나타내었다. 또한, 고흥 외나로도 표층은 5.5 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 3.5 cells mL⁻¹로 63.6%의 점유율을, 저층은 11.2 cells mL⁻¹에서 규조류가 10.2 cells mL⁻¹로 91.1%의 점유율을 보여 가장 낮은 세포밀도를 나타내었다(Fig. 4). 충도 표층은 19.7 cells mL⁻¹에 대해 규조류가 16.3 cells mL⁻¹로 82.7%의 점유율을, 저층은 29.6 cells mL⁻¹에서 규조류가 26.9 cells mL⁻¹로 90.9%의 점유로 중앙부 해역을 제외한 동부 및 서부해역의 식물플랑크톤 현존량은 규조류에 의해 크게 지배되는 특징을 나타내었다(Fig. 4).

식물플랑크톤 현존량은 출현 종수에서 관찰되는 서부

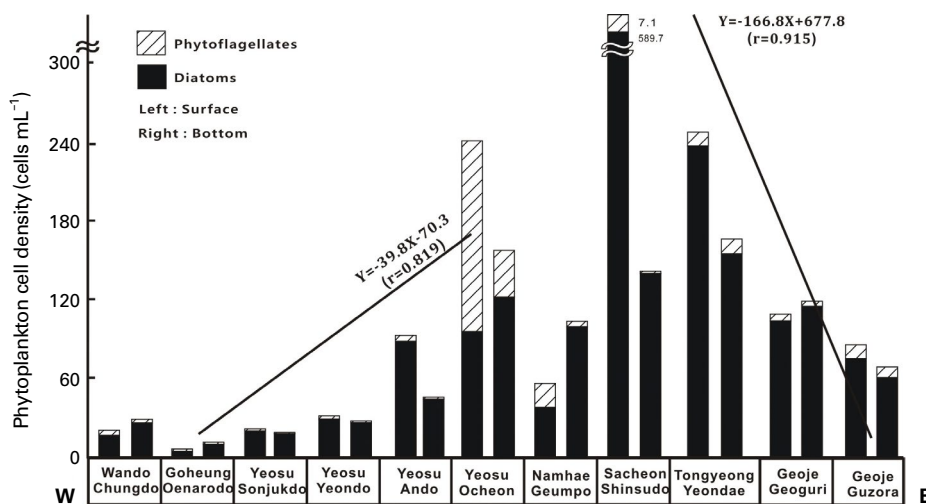


Fig. 4. The spatial fluctuations of phytoplankton cell density in the coastal waters of South Sea during the early summer of 2018.

에서 동부해역으로 규칙적으로 증가하는 모습은 관찰되지 않았지만, 남해 금포 해역을 경계로 서부와 동부해역으로 구분하여 회귀분석을 하면, 모두 높은 상관계수로 여수 오천동에서 완도 층도 해역까지는 $Y = -39.8X - 70.3$ ($r = -0.819$)의 완만한 감소를 나타내는 반면, 사천 신수도에서 거제 구조라 해역까지는 $Y = -166.8X + 677.8$ ($r = -0.915$)로 매우 급격하게 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 4).

3. 우점종 및 우점율

이른 여름 남해 연안해역의 식물플랑크톤 군집에서 5% 이상의 우점율을 나타내는 우점종은 부영양화 해역의 지표종(Lizuka 1985)으로 알려진 중심규조 *Skeletonem costatum*-ls가 오천동과 층도를 제외한 해역에서 우점 출현하였고, 기타 우점종은 해역에 따라 많은 차이를 나타내었다(Table 1).

구조라 표·저층은 4종의 우점종이 출현하여, 표층에서 우상규조 *Nitzschia* sp./small type 및 *S. costatum*-ls가 32.3%와 17.9%의 우점율을, 와편모조류 *Tripos fusus* 및 중심규조 *Chaetoceros affinis*가 각 6.9%와 5.9%의 우점율을 보였으며, 저층은 *Nitzschia* sp./small type 및 *S. costatum*-ls가 29.1%와 17.1%, *Ch. affinis* 및 *T. fusus*가 10.9%와 7.9%의 우점율로 우점 출현하였다(Table 1). 저구리는 표층 5종, 저층 4종의 우점종으로 표층은 *S. costatum*-ls, 중심규조 *Chaetoceros curvisetus* 및 *Leptocylindrus danicus*가 13.2~13.9%의 낮은 우점율, *Ch. affinis*와 중심규조 *Eucampia zodiacus*가 9.0%와 7.3%의 우점율을, 저층은 *S. costatum*-ls와 *L. danicus*가 22.0%와 14.0%, *Ch. curvisetus*, *Ch. affinis*가 9.9%와 8.0%의 우점율을 보였으나, 표층의 *E. zodiacus*는 우점 출현하지 않았고, 연대도 표·저층은 3종의 우점종으로 표·저층 우상규조 *Pseudo-nitzschia* sp. 및 *S. costatum*-ls가 표층 12.8%와 10.0%, 저층 13.6%와 12.1%의 낮은 우점율로 우점하였으며, *Nitzschia* sp./small type이 표·저층에서 8.5%와 9.8%의 우점율을, 신수도 표·저층은 3종의 우점종으로 표층에서 *Ch. curvisetus*, *S. costatum*-ls가 29.3% 및 23.9%, 저층에서 27.7% 및 27.8%의 우점율을 보였으며, *Chaetoceros radicans*가 표·저층에서 9.4%와 5.7%로 우점하였다(Table 1). 금포는 표층 4종, 저층 3종의 우점종으로 표·저층에서 *S. costatum*-ls가 20.8%와 43.1%의 우점율로 최우점하였고, 표층은 기타 *Pseudo-nitzschia* sp.와 *T. fusus*가 각 18.6%

및 12.8%, *Ch. affinis*가 5.4%의 우점율을, 저층은 표층 *Ch. affinis* 대신 *Ch. curvisetus*가 우점율 11.9%를 보였으나, *T. fusus*는 1.9%로 우점율이 감소하였다(Table 1). 오천동은 표층 4종, 저층 2종의 우점종으로 표층에서 유독와편모조류 *Gymnodinium catenatum*이 우점율 41.0%로 극우점하였고, 와편모조류 *Scrippsiella trochooides* 및 *Prorocentrum triestinum*이 11.9%와 6.0%의 우점율을, *L. danicus*가 5.0%의 우점율을 보였으나, 저층은 *G. catenatum*의 우점율이 18.8%로 감소하였고, 표층에서 우점한 2종의 와편모조류의 우점율은 1% 대로 낮아졌으며, *L. danicus*가 우점율 7.7%로 표층보다 다소 증가하였다(Table 1). 안도는 표층 2종, 저층 3종의 우점종으로 표·저층에서 *S. costatum*-ls가 각 47.6%와 48.8%의 우점율로 극우점하였고, *Ch. curvisetus*가 11.9%와 10.6%, 그리고 *L. danicus*가 저층에서 6.4%의 우점율을, 연도는 표·저층 3종의 우점종으로 *S. costatum*-ls가 35.9%와 45.1%로 극우점하였고, *Ch. curvisetus*가 7.2%와 12.5%, 그리고 *L. danicus*가 5.3%와 4.5%로 우점하였다(Table 1). 손죽도는 표·저층 3종의 우점종으로 중심규조 *Stephanophyxis turris* 및 *S. costatum*-ls가 표층 28.4%와 28.7%, 저층 25.6%와 37.0%의 우점율로 표층과 저층에서 최우점종과 차우점종으로 교차하였고, *L. danicus*가 표층과 저층에서 8.4%와 11.1%의 우점율로 출현하였다(Table 1). 외나로도 표·저층 4종의 우점종으로 표층에서 *L. danicus*와 *T. fusus*가 17.1%와 12.2%의 우점율을, *S. costatum*-ls와 *Nitzschia* sp./small type이 9.8%와 6.1%, 저층은 *S. costatum*-ls가 우점율 16.1%로 최우점하였으며, 표층의 *L. danicus*와 *T. fusus*는 우점율 6.3%와 4.8%로 감소하였으며, 표층에 우점 출현하지 않은 우상규조 *Thalassionema nitzschioides*가 5.4%의 우점율로 출현하였다(Table 1). 층도는 표층 8종, 저층 5종의 우점종으로 다양한 우점종이 출현하여, 표층에서 규조류 7종과 와편모조류 *Tripos furca*, *T. fusus*가 약 5%의 우점율을, 저층은 *Nitzschia* sp./small type이 10.4%, *L. danicus*, *Proboscia alata*, *Pseudo-nitzschia pungens*, *St. turris* 등이 우점율 5% 전후의 출현하였지만, 표층의 우점 와편모조류는 우점율 2% 수준으로 감소하였다(Table 1).

다만 남해 서부해역인 손죽도, 외나로도 및 층도는 식물플랑크톤 전체 세포밀도가 매우 낮아, 출현세포의 조그마한 변화에도 5% 이상의 우점율을 나타내는 등, 우점종이 식물플랑크톤 군집을 대표하는 종으로 의미 부여가 어려운 특징을 보였다.

Table 1. The dominant species and dominance of phytoplankton community in the coastal waters of South Sea, Korea during the early summer of 2018

Layer	Dominant species	Areas										
		Guzora	Geoguri	Yeondae	Shinsudo	Geumpo	Ocheon	Ando	Yeondo	Sonjukdo	Oenarodo	Chungdo
Surface	DIATOMS	87.8	94.8	95.6	98.8	69.0	39.3	95.1	91.1	93.7	63.6	82.7
	<i>Chaetoceros affinis</i>	5.9	9.0			5.2					4.9	
	<i>Ch. curvisetus</i>		13.2		29.3			11.9	7.2			
	<i>Ch. radicans</i>				9.4							
	<i>Eucampia zodiacus</i>		7.3									
	<i>Leptocylindrus danicus</i>		13.3			4.5	5.0		5.3	8.4	17.1	8.5
	<i>Nitzschia</i> sp./small type	32.3		8.5							6.1	7.1
	<i>Paralia sulcata</i>											9.5
	<i>Proboscia alata</i>											6.1
	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.			12.8		18.6						
	<i>Skeletonema costatum</i> -ls	17.9	13.9	10.0	23.9	20.8	47.6	35.9	28.7	28.4	9.8	6.4
	<i>Stephanopyxis turris</i>											
	<i>Thalassionema nitzschioides</i>											6.8
	PHYTOFLAGELLATES	12.2	5.2	4.4	1.2	29.0	60.7	4.9	8.9	6.3	36.4	17.3
	<i>Gymnodinium catenatum</i>						41.1					5.1
<i>Porocentrum triestinum</i>						6.6						
<i>Scippsiella trochoidea</i>						11.9						
<i>Tripos fusus</i>	6.9				12.8					12.2	6.1	
Bottom	DIATOMS	89.4	96.4	93.1	98.5	95.9	78.0	98.3	97.4	97.2	91.1	90.9
	<i>Chaetoceros affinis</i>	10.9	8.0			5.4						
	<i>Ch. curvisetus</i>		9.9		27.7			10.6	12.5			
	<i>Ch. radicans</i>				5.7							
	<i>Leptocylindrus danicus</i>		14.0					6.4	4.5	11.1	8.3	7.4
	<i>Nitzschia</i> sp./small type	21.9		9.8		4.1					3.6	10.4
	<i>Proboscia alata</i>											6.5
	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>											5.4
	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.			13.6		23.1						
	<i>Skeletonema costatum</i> -ls	17.1	22.0	12.1	27.8	43.1	48.8	45.1	25.6	37.0	16.1	6.8
	<i>Stephanopyxis turris</i>											
	<i>Thalassionema nitzschioides</i>											
	PHYTOFLAGELLATES	0.6	3.6	6.9	1.5	4.1	22.0	1.3	2.6	2.8	5.4	9.1
	<i>Gymnodinium catenatum</i>						18.8				8.9	
	<i>Tripos fusus</i>	7.9									4.8	

4. 생태지수

이른 여름 남해 연안해역의 식물플랑크톤 군집 특성을 표현하는 생태지수에서 표층 다양도 지수는 현존량이 낮은 외나로도 해역에서 최솟값 2.320에서 연대도 해역의 최대값 3.491의 범위로 변화하여, 2.674 ± 1.101 의 변동 폭을 나타내었다. 해역적으로 경상남도 연안해역인 동부에서 3.0 이상의 높은 값으로 군집 안정도가 큰 것에 반해, 전라남도 해역인 서부에서는 안도의 3.055를 제외하면 3.0 이하의 지수로 군집 안정도가 다소 낮은 특성을 보였다. 표층 우점도 지수도 외나로도 및 충도 해역에서 0.338로 최솟값을 보이는 것에서 안도 해역에서 최댓값 0.671의 범위로 변동하여, 0.503 ± 0.121 의 변동 폭으로 중앙부 해역에서 우점도 지수가 높은 반면 서부 및 동부의 저구리 해역에서 낮은 지수를 보였다(Fig. 5). 저층은 손죽도 해역에서 최솟값 2.059에서 연대도 해역에서 최댓값 3.437의 범위로 변화하여, 표층과 같이 동부해역에서 높고, 서부해역에서 낮은 지수값을 나타내었다. 저층 우점도 지수도 표층과 유사하여 외나로도 및 충도 해역에서 0.330으로 최솟값을 보였고, 안도에서 0.672의 최댓값의 범위로 변동하여, 중앙부 해역인 신수도, 금포, 오천동 및 손죽도 해역에서 0.6 이상의 높은 지수를 나타내었다.

또한 다양도와 우점도 지수 사이의 관계에서 상대적으로 다양한 종의 출현 및 높은 세포밀도를 보였던 동부해역은 명확한 역의 관계를 나타내고 있는 것에 반해, 출현 종수 및 세포밀도가 낮았던 서부해역 및 특정 종에 의해 극

우점 되었던 중앙부 해역은 두 지수 사이에 분명한 관련성이 관찰되지 않았다(Fig. 5).

고찰

남해 연안해역은 각 조사해역의 환경특성, 즉 육지에서부터 조사해역까지 거리 차이, 내만해역에 하천의 존재는 물론 대규모 임해공업단지의 조성 등 서로 다른 특성을 가지고 있어 단순하게 비교·평가할 수는 없지만, 남해라는 유사성을 기초로 하여 분석하였다. 이른 여름 남해 연안해역의 식물플랑크톤 군집에서 출현이 확인된 105종은 서해 및 동해 일부해역에 비하면 낮은 값이라 할 수 있지만(Choi 2011; Shin 2013; Yoon 2017), 상대적으로 다양한 종조성을 보이는 것으로 판단되었다(Yoon 2011), 그러나 분류군별 구성비는 국내 연안해역의 식물플랑크톤 군집은 연중 규조류에 의해 높은 점유율을 나타내고 있는 것(Choi 2011)에 반해, 와편모조류를 포함한 식물성 편조조류의 구성비가 높은 특징을 보였다. 이러한 결과는 국내 연안해역에서도 고수온기에 와편모조류 출현 종수가 증가하여(Yoon *et al.* 1992; Yoon and Go 1994; Yoon 1995, 2011), 온대해역 식물플랑크톤 군집의 계절변화 및 고수온기에 규조류에서 와편모조류로 우점종이 천이 되는 현상(Parsons *et al.* 1984)이 관찰되었다. 그러나 고수온기 개방된 온대해역과 내만 및 연안해역에서 식물플랑크톤 종천이를 유발시키는 원인은 서로 다른 특성을 보이기에

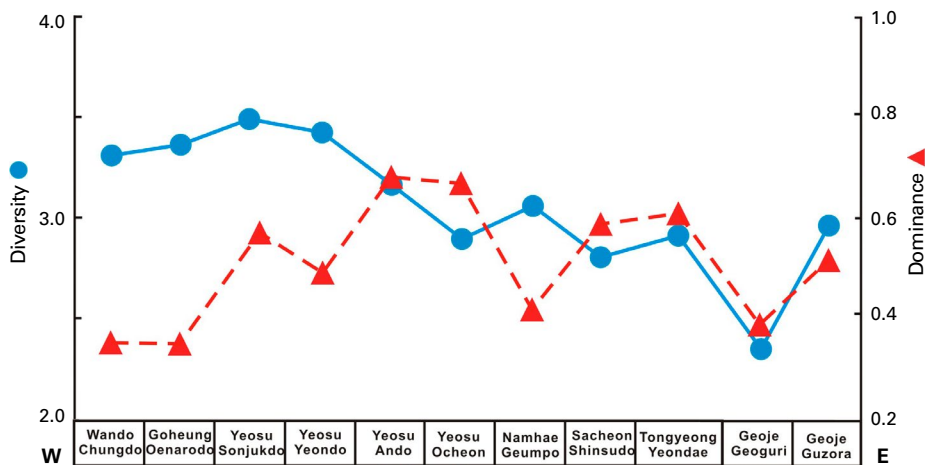


Fig. 5. The spatial fluctuations of diversity and dominance on the phytoplankton community in the coastal waters of South Sea during the early summer of 2018.

(Yoon 1989), 단순한 결과 비교에 큰 의미를 부여할 수는 없다.

이른 여름 남해 연안해역의 식물플랑크톤 세포밀도는 일반적으로 국내 연안에서 관찰될 수 있는 수준이지만 (Yoon 2011), 서부해역의 10 cells mL⁻¹ 이하의 세포밀도는 남해 연안에서는 매우 낮은 수준이라 할 수 있다. 그렇지만 이례적인 수준은 아니며 (Yoon 2011), 국내에서 상대적으로 빈영양 특성을 보이는 동해의 세포밀도에서는 0.1 cells mL⁻¹의 수준도 어렵지 않게 관찰된다 (Choi 2011; Yoon 2016a).

이른 여름 남해 연안의 식물플랑크톤 군집에서 우점종은 오천동 및 충도 해역을 제외한 해역에서 부영양화 지표종 (Iizuka 1985; Yoon 1995)인 *Skeletonema costatum*-ls가 해역에 따라 우점율의 차이는 있지만 우점 출현하였고 (Yoon 2011), 오천동 해역을 제외한 금포에서 손죽도까지의 중앙부 해역에서 최우점종으로 출현하여, 주변의 대규모 입해공업단지 및 도시의 영향을 받는 것으로 판단되었다. 포구조라 해역은 우상구조 *Nitzschia* sp./small type이 최우점하는 이례적 현상이 관찰되었다 (Choi 2011). 해역별로는 오천동 해역에서 최우점한 *Gymnodinium catenatum*은 여름 남해 중앙부 해역에서 높은 세포밀도로 출현하는 것이 보고되었으며 (Yoon 2017), 태평양 동부해역을 포함한 다양한 연안해역에서 대규모 적조를 발생시켜 해양생물에 커다란 피해를 발생시키는 종으로 보고되는 유해생물이다 (Band-Schmidt et al. 2010; Quijano-Scheggia et al. 2012). 또한 거제 저구리 표층에서 낮은 우점율로 출현한 *Eucampia*

*zodiacus*는 남해 중앙부 해역에서 늦가을에서 초봄까지 극우점하는 종 (Yoon 2017)으로 일본 연안해역의 김 양식장에서는 겨울에 적조를 발생시켜 김과 심한 영양경쟁으로 김 변색 등 품질을 악화시키는 유해적조생물종 (Nishikawa et al. 2007)으로 고수온기에 남해에서 우점하는 것은 다소 이례적이다. 그리고 손죽도 해역에 *Stephanopyxis turris*가 차우점종으로 출현한 것 역시 다소 이례적이다. 이 종은 전 세계의 연안에 광범위하게 분포하는 종이지만 (Ferrario et al. 2012), 국내에서 우점 출현하는 사례는 잘 알려져 있지 않다. 그러나 기타 우점 출현하는 대부분 종들은 국내 남서 해역에서 계절과 해역에 따라 어렵지 않게 우점 출현하는 종이다 (Yoon 2011). 그리고 오천동 등 외편모조류에 의해 우점되는 해역에서 표층과 저층의 세포밀도에 큰 차이를 보이는 것은 외편모조류의 일부 연직이동에 따른 결과로 볼 수 있었다 (Olli 1999; Gerbersdorf and Schubert 2011).

일반적으로 빈영양 해역은 소형세포인 피코플랑크톤이 우점하지만, 영양염 공급이 원활한 연안해역은 대형세포의 식물플랑크톤이 우점하며 (Cloern 2018), 이러한 연안해역의 대표적 종 (key bloom species)으로 기수성 규조류, *Cerataulina pelagica*, *Dactyliosolen fragilissimus*, 외편모조류, *Heterocapsa triquetra*, *Prorocentrum cordatum* 등 및 규조류 *Chaetoceros*, *Coscinodiscus*, *Skeletonema* 및 *Thalassiosira* 속이 알려지고 있다 (Carstensen et al. 2015). 그리고 이른 여름 남해에서 우점한 종을 *S. costatum*-ls (like species)로 표현한 것은 20세기 말까지 *Skeletonema* 속은 *S. costatum*

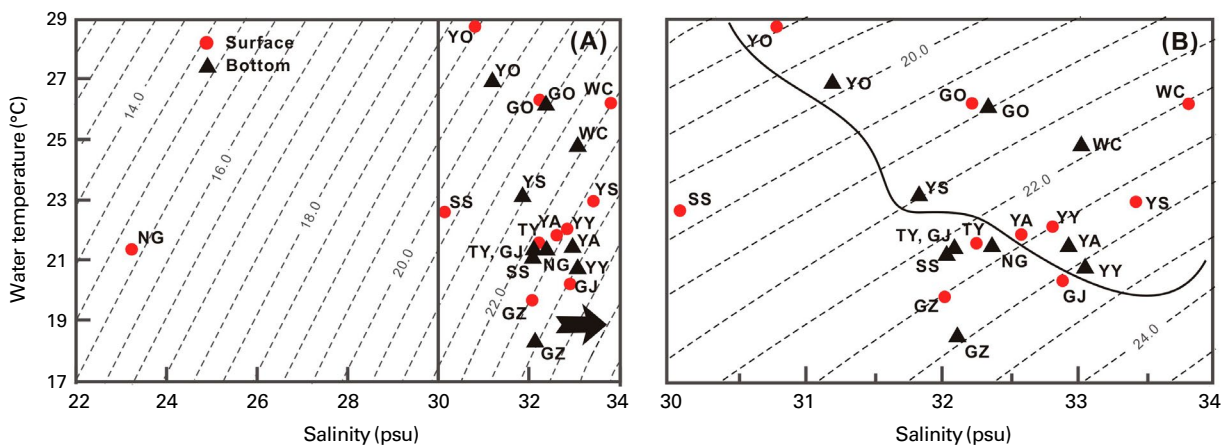


Fig. 6. T-S diagrams of the surface and bottom layers in the coastal waters of South Sea during the early summer of 2018. GZ: Geoje Guzora, GG: Geoje Geoguri, TY: Tongyeong Yeondaedo, SS: Sacheon Shinsudo, NG: Nnamhae Geumpo, YO: Yeosu Ocheon, YA: Yeosu Ando, YY: Yeosu Yeondo, YS: Yeosu Sonjukdo, GO: Goheung Oenarodo, WC: Wando Chungdo.

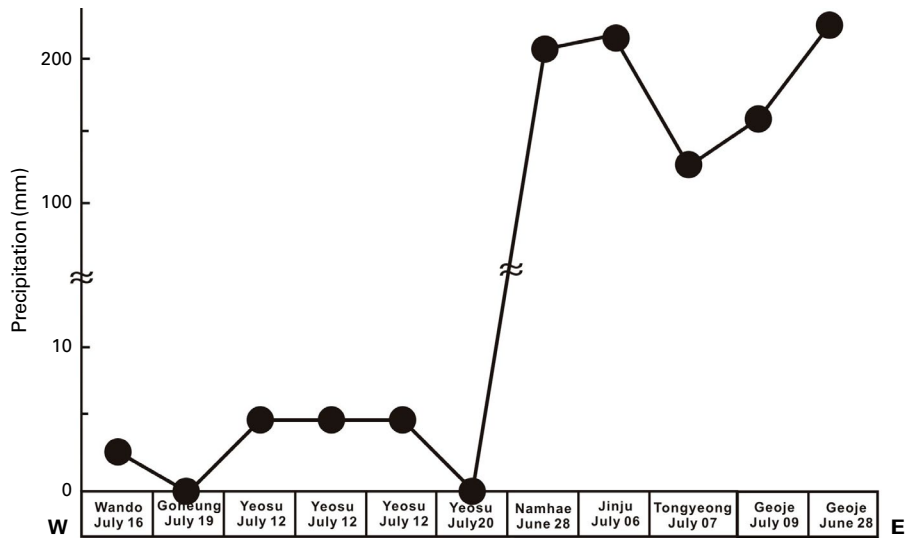


Fig. 7. The spatial fluctuation of accumulative precipitation of two weeks before the survey day at the regional meteorological office located near the sampling sites.

단일 종으로 보고되었으나, 21세기에 들어 전자현미경을 이용한 미세구조 관찰 및 분자생물학적 연구에 의해 *Skeletonema* 속은 단일종이 아닌 복수의 종으로 구성된다 는 제안 이후 (Zingone *et al.* 2005; Sarno *et al.* 2007; Smayda 2011), 32종으로 세분화 되었다. 그러나 최근 분류학적 재검토로 *S. barbadense*, *S. costatum* 및 *S. stylifera* 3종 이외 29 종에 대해서는 아직 종명이 확정되지 않았다 (WoRMS, <http://www.marinespecies.org>). 또한 국내에서 우점 출현하는 것으로 보고되는 *S. costatum*는 우리나라를 포함한 동북아시아 해역에서 많은 양으로 출현하지 않는 것이 보고되는 (Yamada 2013) 등, 불확실한 점이 많아 이 논문에서는 기존문헌의 *S. costatum*으로 분류된 종을 포함하여 *Skeletonema* 속의 모든 종을 *S. costatum*-ls로 정리하였다 (Yoon 2015).

이른 여름 남해 연안해역의 생태지수는 국내의 다른 해역과 비교하여 상대적으로 높은 다양도 지수와 낮은 우점도 지수를 보이는 것으로 판단되었다 (Shin 2013). 식물플랑크톤 군집에서 남해 서부해역과 동부해역에서 출현 종수, 현존량, 우점종, 생태지수 등에서 많은 차이를 보이는 이유를 파악하기 위해 식물플랑크톤 표본채집과 동시에 측정된 수온, 염분 (YSI Pro DSS) 자료를 이용하여 T-S diagram 분석을 실시하였다. 결과 남해 중앙부 해역의 남해에서 출현 종수와는 달리 낮은 현존량을 보이는 것은 남해 금포해역의 표층은 매우 낮은 염분농도에 의해 15.5

이하의 σ_t 를 나타내고 있어 (Fig. 6A), 주변해역에 비해 낮은 세포밀도를 보이는 것으로 판단되었다 (Hoshiai 1964; Vigil *et al.* 2009; Bazin *et al.* 2014). 그리고 Fig. 6A의 오른쪽에 밀집하여 분포한 해역을 확대하여 살펴보면 (Fig. 6B), 남해 연안해역에서 식물플랑크톤 출현 종수 및 현존량이 높은 동부해역은 금포 및 신수도 해역의 표층을 제외하면 모두 서부해역보다 낮은 수온으로 22.0 이상의 σ_t 로 밀집된 분포를 보이는 반면, 서부해역은 동부해역에 비해 높은 수온으로 넓은 σ_t 범위로 분산된 특징을 보였다. 상대적으로 낮은 σ_t 를 나타내는 해역은 금포, 신수도 및 오천동 등 남해 중앙부 해역으로 내만에 섬진강과 남강 등 대형 하천이 존재한다. 그러나 식물플랑크톤 군집의 변동은 다양한 물리·화학적 무생물 환경인자는 물론 포식압 등의 생물학적 인자까지 고려한 종합적인 고찰이 필요하기에, 단순한 T-S diagram에 의해 전체 내용을 평가하기는 어렵다.

남해의 연안해역의 조사가 동시에 이루어지지 않고, 동부해역은 6월 28일에서 7월 9일까지, 서부해역은 7월 12일에서 7월 19일 사이에 실시되었다. 때문에 수온, 염분 분포가 지리적 특성에 의한 것인지? 아니면 외부인자에 의한 것인지를 평가하기 위해 기상청에서 제공한 지상관측자료 (http://www.weather.go.kr/weather/climate/past_table.jsp)를 이용하여 각 해역의 조사 당일을 포함한 1주일 이전의 강수량을 검토하였다. 결과 2018년 6월 25일에서 7월 7일 사이 남해안은 100 mm 이상의 강수가 있었으

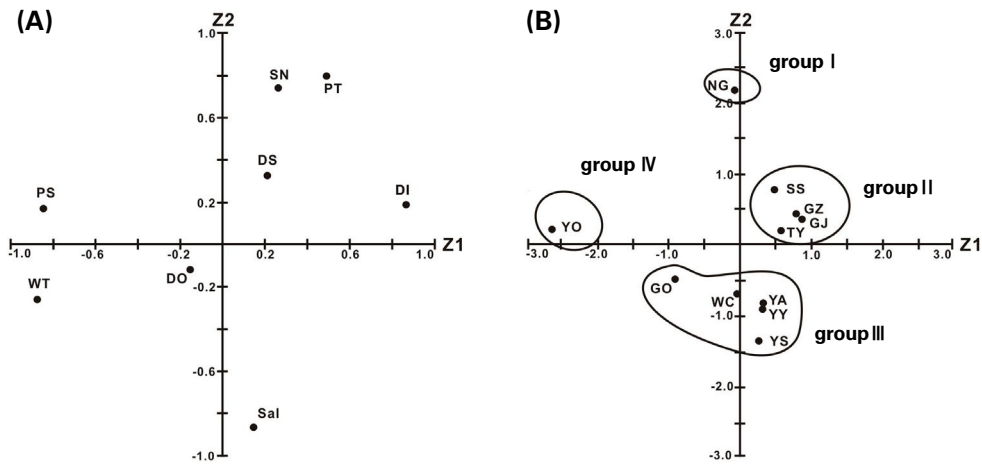


Fig. 8. Distribution of the loading factor (A) and score (B) by principal component analysis (PCA). SN: species number, PT: precipitation, DS: diatoms cell density, PS: phytoplankton cell density, DI: diversity, DO: dominance, WT: water temperature, Sal: salinity, NG: Geumpo, SS: Shinsudo, GZ: Guzora, GJ: Jeoguri, TY: Yeon-daedo, YO: Ocheondong, GO: Oenarodo, WC: Chungdo, YA: Ando, YY: Yeondo, YS: Sonjukdo

며, 조사시점으로 보면 남해 동부해역은 조사시점에 통영 연대도가 127.6 mm에서 거제 구조라는 220.5 mm까지 매우 높은 강수량을 기록한 반면, 남해 서부해역은 5.0 mm 이하이거나 전혀 강수량이 기록되지 않았다(Fig. 7). 특히 남해 금포 해역은 조사 당일 179.5 mm의 강수가 있었던 것으로 나타났다. 즉 남해의 해역에 따른 수온, 염분의 차이는 기상요인에 의해 발생하는 것으로 해석되었다. 연안해역은 육상을 통한 물리·화학적 환경인자의 원활한 공급 등으로 인근 해역과 이들 인자의 농도구배가 크며 (McLusky 1993), 식물플랑크톤 군집 등의 생물학적 인자는 외부에서 공급되는 영양염 등 물리·화학적 무생물 환경 인자에 따른 시·공간적 변동 폭이 매우 큰 특성을 보였다(McLusky 1993; Trigueros and Orive 2000).

제공된 자료를 이용한 주성분분석은 SPSS 프로그램을 이용하여 누적기여율 70%를 기준으로 계산한(Yoon 1989, 2016a) 결과는 $Z = 3.395Z1 + 1.875Z2 + 1.237Z3$ (누적기여율 81.3%)로 제2주성분까지 누적기여율은 65.9%를 나타내었다. 인자부하량(Fig. 8A)과 득점분포(Fig. 8B)에 의한 해역별 구분 및 특징은 높은 강수량으로 낮은 염분을 보이지만, 비교적 다양한 출현 종수를 나타내는 남해 금포 해역(그룹 I), 높은 다양도 지수와 높은 강수량을 보이고 있음에도 일정한 염분을 유지하는 거제 구조라, 거제 저구리, 통영 연대도 및 사천 신수도의 남해 동부 연안해역(그룹 II), 상대적으로 높은 염분농도에 낮은 강수량을 보이면서 단조로운 출현 종수를 보이는 여수 안도, 여수 연도, 여수 손죽도, 완도 충도 및 고흥 외나로도의 남해 중앙부에

서 서부 연안해역(그룹 III), 그리고 유독 외편모조류에 극우점 되는 산단 인근의 여수 오천동 해역(그룹 IV)으로 구분되어, 앞에서 설명한 내용들과 일치하는 결과를 나타내었다(Fig. 8).

이러한 결과로부터 이른 여름 남해 연안해역의 식물플랑크톤 군집의 공간분포는 강수에 의해 육상에서 유입되는 영양염 공급의 차이에 따라 서로 다른 결과를 나타내는 것으로 판단되었다. 즉 경상남도 연안인 동부해역 및 중앙부 여수 오천동 해역은 내만해역에 위치하는 낙동강, 남강, 섬진강 등의 대형하천을 통해 영양염 공급이 원활한 반면(Hoshiai 1964; McLusky 1993), 서부해역은 내만에 대형하천이 존재하지 않고 있을 뿐만 아니라 낮은 강수량으로 내만에서 공급되는 영양염 공급이 원활하지 않으며, 양자강 희석수 및 서남해의 한국연안고유수 확장으로 영양염이 공급되는 부분이 크다는 기존의 연구결과(Cho and Kim 1994; Yang *et al.* 1995; Lee 1999)와도 유사한 내용이 라 할 수 있었다.

적 요

남해 연안해역에서 이른 여름 식물플랑크톤 군집의 분포특성을 파악하기 위해 2018년 6월말에서 7월 중순까지 11개 해역을 대상으로 실시하였다. 결과 출현한 식물플랑크톤 출현 종은 56속 105종으로 구조류가 52.4%, 외편모조류가 40.0%, 기타 편모조류가 7.6%였다. 현존량은 표층에

서 5.5~593.2 cells mL⁻¹로 변화하여, 출현종과 현존량 모두 동부해역에서 높고, 서부 해역에서 낮은 특징을 나타내었다. 식물플랑크톤 군집은 남해 금포, 여수 오천동 및 고흥 외나로도 해역을 제외하면 구조류에 지배되는 특성을 보였으며, 우점종은 여수 오천동과 완도 충도를 제외하면 중심구조 *Skeletonema costatum*-like species (1s)에 의해 우점되었다. 그러나 오천동 해역은 유독와편모조류 *Gymnodinium catenatum*에 의해 극우점되었고, 남해 금포 및 외나로도 해역은 와편모조류 *Tripos fusus*에 의해 12% 이상의 우점율을 나타내었다. 이른 여름 남해 연안해역의 식물플랑크톤 군집의 공간분포는 강수량 등 영양염류 공급에 크게 지배되고 있는 것으로 판단할 수 있었다.

REFERENCES

- Band-Schmidt CJ, JJ Bustillos-Guzmán, DJ López-Cortés, I Gárate-Lizárraga, EJ Núñez-Vázquez and FE Hernández-Sandoval. 2010. Ecological and physiological studies of *Gymnodinium catenatum* in the Mexican Pacific: A review. *Mar. Drugs* 8:193-1961.
- Bazin P, F Jouenne, T Friedl, AF Deton-Cabanillas, B Le Roy and B Véron. 2014. Phytoplankton diversity and community composition along the estuarine gradient of a temperate macrotidal ecosystem: Combined morphological and molecular approaches. *PLoS One* 9:e94110. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094110>
- Beardsley RC, R Limeburner, H Yu and GA Cannon. 1985. Discharge of the Changjiang (Yangtze river) into the East China Sea. *Cont. Shelf Res.* 4:57-76.
- Carstensen J, R Klais and JE Cloern. 2015. Phytoplankton blooms in estuarine and coastal waters: Seasonal patterns and key species. *Est. Coast. Shelf Sci.* 162:98-109.
- Chihara M and M Murano (eds). 1997. *An Illustrated Guide to Marine Plankton in Japan*. Tokai Univ. Press, Tokyo.
- Choi CK (ed). 2011. *The Plankton Ecology in Korean Coastal Waters*. Donghwa Pub. Seoul.
- Cho YK and K Kim. 1994. Characteristics and origin of the cold water in the South Sea of Korea in summer. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 29:414-421.
- Cloern JE. 2018. Why large cells dominate estuarine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* 63:S392-S409.
- Cloern JE, SQ Foster and AE Kleckner. 2014. Phytoplankton primary production in the world's estuarine-coastal ecosystems. *Biogeosci.* 11:2477-2501.
- Cupp EE. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of north America. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. California.* 5:1-237.
- Ferrario ME, GO Almandoz, AO Cefarelli, E Fabro and M Vernet. 2012. *Stephanopyxis* species (Bacillariophyceae) from shelf and slope waters of the Argentinean Sea: Ultrastructure and distribution. *Nova Hedwigia* 96:249-263.
- Gerbersdorf SU and H Schubert. 2011. Vertical migration of phytoplankton in coastal waters with different UVR transparency. *Environ. Sci. Europe.* <https://doi.org/10.1186/2190-4715-23-36>
- Hallegraef GM, CJS Bolch, DRA Hill, I Jameson, JM LeRoi, A McMin, S Murray, MF de Salas and K Saunders. 2010. *Algae of Australia: Phytoplankton of Temperate Coastal Waters*. CSIRO Publ. Cambella.
- Haurly LR, JA McGowan and PH Wiebe. 1978. Patterns and processes in the time-space scales of plankton distribution. pp. 277-327. In *Spatial Pattern in Plankton Communities* (Steele JH ed.). NATO Conference Series IV (Marine Science), Vol. 3, Plenum Publishing Corporation, New York.
- Hopkinson CJ and EM Smith. 2005. Estuarine respiration: an overview of benthic, pelagic and whole system respiration. pp. 122-146. In *Respiration in Aquatic Ecosystems*. (del Giorgio PA and PJ le B Williams eds.). Oxford Univ. Press, New York.
- Hoshiai T. 1964. Synecological study on the intertidal zonation of the Asamushi coastal area with special reference to its reformation. *Bull. Mar. Biol. Stn Asamushi, Tohoku Univ.* 12:93-126.
- Iizuka S. 1985. 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.
- Lee T. 1999. Characteristics of nutrients distribution in summer and winter in the South Sea. *J. Korean Soc. Oceanogr.* 4:371-382.
- McLusky DS. 1993. Marine and estuarine gradients — An overview. *Netherlands J. Aquat. Ecol.* 27:489-493.
- McNaughton SJ. 1968. Structure and function in California grassland. *Ecology* 49:962-972.
- Nishikawa T, Y Hori, K Tanida and I Imai. 2007. Population dynamics of the harmful diatom *Eucampia zodiacus* Ehrenberg causing bleaching of *Porphyra thalli* in aquaculture in Harima-Nada, the Seto Inland Sea, Japan. *Harmful Algae* 6:763-773.
- Olli K. 1999. Diel vertical migration of phytoplankton and heterotrophic flagellates in the Gulf of Riga. *J. Mar. Syst.* 23:145-163.
- Omura T, M Iwataki, VM Borja, H Takayama and Y Fukuyo. 2012. *Marine Phytoplankton of the Western Pacific*. Kouseisha Kouseikaku. Tokyo.

- OSC. 1986. A Manual for Coastal Environmental Survey (Sediments and Biology). The Oceanographic Society of Japan. Kouseoshakouseikaku, Tokyo.
- Parsons TR, M Takahashi and B Hargrave. 1984. Biological Oceanographic Processes (3rd eds.). Pergamon Press, Oxford.
- Quijano-Scheggia S, A Olivos-Ortiz, JJ Bustillos-Guzmán, E Garcés, JH Gaviño-Rodríguez, MA Galicia-Pérez, M Patiño-Barragan, CJ Band-Schmidt, FJ Hernández-Sandoval and DJ López-Cortés. 2012. Bloom of *Gymnodinium catenatum* in Bahía Santiago and Bahía Manzanillo, Colima, Mexico. Rev. de Biol. Trop. 60:173-186.
- Sarno D, WHCF Kooistra, S Balzano, PE Hargraves and A Zingone. 2007. 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.
- Shannon CE and W Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois, Press, Urbana.
- Shin YK. 2013. A ecological study of phytoplankton community in the Geum River Estuary. Korean J. Ecol. Environ. 46:524-540.
- Smayda TJ. 2011. Cryptic planktonic diatom challenges phytoplankton ecologists. Proc. Nat'l Acad. Sci. USA 108:4269-4270.
- Tomas CR. 1997. Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates. Academic Press. Oxford.
- Trigueros JM and E Orive. 2000. Tidally driven distribution of phytoplankton blooms in a shallow, macrotidal estuary. J. Plankton Res. 22:969-986.
- Vigil P, P Countway, J Rose, DJ Lonsdale, CJ Gobler and DA Caron. 2009. Rapid shifts in dominant taxa among microbial eukaryotes in estuarine ecosystems. Aquat. Microb. Ecol. 54:83-100.
- Yamada M. 2013. Recent studies on biodiversity and eco-physiological characteristics of the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae). Bull. Plankton Soc. Japan 60:18-28.
- Yang HS and SS Kim. 1991. A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea Peninsula II. Geographical distribution and chemical characteristics of different mid-bottom waters in the neighbouring sea of Cheju Island in summer. J. Korean Fish. Soc. 24:177-184.
- Yang HS, SS Kim and G Kim. 1995. Spatio-temporal distribution of nutrients in the surface waters of Deukryang Bay 1. Seasonal variation of nutrients and limiting factors for primary production. J. Korean Fish. Soc. 28:475-488.
- Yoon YH. 1989. Environmental analysis of phytoplankton growth in the Inland Sea of Japan with special reference to the occurrence of red tide. Ph.D Thesis, Hiroshima Univ.
- Yoon YH. 1995. 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. 4:1-15.
- Yoon YH. 1999. The characteristics on the spatio-temporal distributions of phytoplankton communities in Deukryang Bay, southwestern Korea. Korean J. Environ. Biol. 17:481-492.
- Yoon YH. 2011. Marine environments and phytoplankton in the South-western Sea of Korea. pp. 68-93. In The Plankton Ecology in Korean coastal waters. (Choi CK ed.). Donghwa Pub. Seoul.
- Yoon YH. 2015. Spatio-temporal distributions of phytoplankton community in the coastal waters of Gogunsan Islands (CoW-GIs), West Sea of Korea. J. Korea Acad.-Indust. Coop. Soc. 16:2287-2300.
- Yoon YH. 2016a. Bio-environmental characteristics of the Uljin Marine Ranching Area (UMRA), East Sea of Korea. 1. Spatio-temporal distributions of phytoplankton community. J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy 19:37-46.
- Yoon YH. 2016b. Marine environments and phytoplankton community around Jeju Island, Korea in the early summer of 2016. Korean J. Environ. Biol. 34:292-303.
- Yoon YH. 2017. Spatio-temporal distributions of phytoplankton community in the coastal waters of central South Sea (CWoCSS), Korea. J. Korea Acad.-Indust. Coop. Soc. 18:441-453.
- Yoon YH, HG Rho and YK Kim. 1992. Seasonal succession of phytoplankton population in the Hamdok port, Northern Cheju Island. Bull. Mar. Sci. Inst., Cheju Nat'l Univ. 16:27-42.
- Yoon YH and NP Go. 1994. Distribution of microalgae in the coastal waters of Keumo Islands, Southern Korea in summer. Rep. Korean Ass. Cons. Nat. 32:161-171.
- Zingone A, I Percopo, PA Sims and D Sarno. 2005. Diversity in the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae): I. A reexamination of they type material of *S. costatum* with the description of *S. grevillei* sp. nov. J. Phycol. 41:140-150.