



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위 논문

2015년 3월~2016년 2월 제주연안 식물플랑크톤

군집의 시공간적 변화

제주대학교 대학원

지구해양과학과

김 규 범

2016년 2월

2015 년 3 월~ 2016 년 2 월 제주연안 식물플랑크톤  
군집의 시공간적 변화

지도교수 이 준 백

김 규 범

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함

2016 년 12 월

김규범의 이학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 \_\_\_\_\_ (인)

위 원 \_\_\_\_\_ (인)

위 원 \_\_\_\_\_ (인)

제주대학교 대학원

2016 년 12 월

**Spatial and Temporal Variation of Phytoplankton  
Community in the Coastal Waters of Jeju Island  
from March 2015 to February 2016**

Gyu-Beom Kim

(Supervised by professor Joon-Baek Lee)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for  
the degree of Master of Science

December, 2016

Department of Earth and Marine Sciences

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

목 차	4
List of Figures and Tables	6
Summary	9
요 약	11
1. 서 론	14
2. 재료 및 방법	17
2.1 시료채집	17
2.2 식물플랑크톤 정량 및 정성분석	19
2.3 생태지수 및 집괴분석	20
3. 결 과	22
3.1 환경 요인	22
3.1.1 수심별 환경변화	22
3.2 제주연안 식물플랑크톤 군집의 월별 및 계절별 동태 특성	31
3.2.1 월별 현존량	31

3.2.2 계절별 종조성 및 우점도	34
3.2.3 계절별 집괴분석	39
3.3 제주연안 식물플랑크톤 군집의 해역별 동태 특성	46
3.3.1 현존량의 해역별 특성	46
3.3.2 해역별 생태지수	52
4. 토 의	55
5. 결 론	62
6. 참고문헌	64

## List of Figures and Tables

Fig. 1. Map showing sampling stations of the coastal waters around Jeju Island. . . . .	18
Fig. 2. . (a) monthly variation of mean water temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and mean salinity (psu), (b) mean DO (mg/L) and mean chlorophyll-a (mg/m <sup>3</sup> ) at 0 m depth from Mar. 2015 to Feb. 2016. . . . .	25
Fig. 3. Fig. 3. (a) monthly variation of mean water temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and mean salinity (psu), (b) DO (mg/L) and chlorophyll-a (mg/m <sup>3</sup> ) at 30 m depth from Mar. 2015 to Feb. 2016. . . . .	28
Fig. 4. Monthly variation of mean standing crops in the coastal waters of Jeju Island. (Mar. 2015~Feb. 2016) . . . . .	32
Fig. 5. Monthly variation of standing crops in Jeju coastal waters by depth. (Mar. 2015 ~Feb. 2016) . . . . .	33
Fig. 6. Seasonal variations of phytoplankton occupancy rate (%) at 0m depth in Jeju coastal waters. . . . .	36
Fig. 7. Seasonal variations of phytoplankton occupancy rate (%) at 30m depth in Jeju coastal waters. . . . .	37
Fig. 8. Seasonal variations of phytoplankton occupancy rate (%) at 50m depth in Jeju coastal waters. . . . .	38

Fig. 9. Cluster analysis of phytoplankton community at 0m (a) and 30m (b) depth in spring (Mar) .....	42
Fig. 10. Cluster analysis of phytoplankton community at 0m (a) and 30m (b) depth in summer (Aug) .....	43
Fig. 11. Cluster analysis of phytoplankton community at 0m (a) and 30m (b) depth in autumn (Oct) .....	44
Fig. 12. Cluster analysis of phytoplankton community at 0m (a) and 30m (b) depth in winter (Dec) .....	45
Fig. 13. Standing crops and occupancy rate (%) of the eastern Jeju Island (Sung-san). ....	48
Fig. 14. Standing crops and occupancy rate (%) of the western Jeju Island (Chagwi-do). ...	49
Fig. 15. Standing crops and occupancy rate (%) of the southern Jeju Island (Seogwi-po). ...	50
Fig. 16. Standing crops and occupancy rate (%) of the northern Jeju Island (Jeju). ....	51
Table 1. Geographic coordinate at sampling stations of coastal waters in Jeju .....	18
Table 2. Formula of ecological index. ....	21
Table 3. Monthly variation of environmental factors at 0 m from Mar. 2015 to Feb. 2016. (a) Water temperature (°C) and (b) Salinity (psu) .....	26
Table 4. Monthly variation of environmental factors at 0 m from Mar. 2015 to Feb. 2016. (a) DO (mg/L) and (b) Chlorophyll-a (mg/m <sup>3</sup> ) .....	27



Table 5. Monthly variation of environmental factors at 30 m from Mar. 2015 to Feb. 2016. (a) Water temperature (°C) and (b) Salinity (psu) ·····	29
Table 6. Monthly variation of environmental factors at 30 m from Mar. 2015 to Feb. 2016. (a) DO (mg/L) and (b) Chlorophyll-a (mg/m <sup>3</sup> ) ·····	30
Table 7. Seasonal variations of ecological indices. ·····	54

## Summary

Spatial and temporal changes of phytoplankton in terms of quantitative and qualitative parameters were monitored in the coastal waters of Jeju Island from March 2015 to Feb 2016. Samples and environmental data were collected at 0m, 30m, 50m depth of ten stations using Jera-ho R/V of Jeju National University. Monthly and seasonal variations of standing crops and species components of phytoplankton community, and environmental factors, were analyzed.

During the study, water temperatures ranged from 13.56 to 25.13 °C at 0m depth, 13.58 - 21.52 °C at 30m, 13.68 - 19.75 °C at 50m, respectively. It showing a lowest at 0m in March and a highest at 0m depth in August. Salinity ranged from 31.99 to 34.63psu at 0m depth, 33.07~34.67psu at 30m, 33.70~34.80psu at 50m, respectively. Dissolved oxygen (D.O.) ranged from 5.08 to 6.73mg/L at 0m depth, 5.72 - 8.09mg/L at 30m, 5.25 - 8.07mg/L at 50m, respectively. It showing a lowest at 0m in July and a highest at 30m in March. Chlorophyll-a by Fluorescence ranged from 0.23 to 2.06mg/m<sup>3</sup> at 0m depth, 0.44~1.05mg/m<sup>3</sup> at 30m, 0.28~0.58mg/m<sup>3</sup> at 50m, respectively. It showing a lowest at 0m in March and a highest at 0m in June.

A total of standing crops of phytoplankton ranged from 5,281 to 639,934 cells/L, showing a lowest at 30m of Sewha in July and a highest at 0m of Pyosun in August. Mean standing crops ranged from 24,899 to 150,536 cell/L at 0m depth, 20,619 - 78,505 cells/L at 30m, 12,687 - 83,258 cells/L at 50m, respectively. Standing crops of phytoplankton in Jeju coast showed a lowest in February and a highest in July or August.

According to the variations of standing crops by region, northern Jeju Island was not directly affected by Tsushima Warm Current (TWC) and Jeju Warm Current (JWC), and another region (Eastern, Western, Southern waters in Jeju Island) was directly affected by

TWC and JWC. Standing crops in the western and northern regions of Jeju Island decreased in the rainy season of June. A reason of standing crops decrease might be due to the Yangtze River Discharge Flow (YDF) during the rainy season.

Standing crop of phytoplankton was higher in spring than autumn, but any pattern of phytoplankton variation by seasonal.

According to the seasonal variation of ecological indices eastern waters (Sung-san) in Jeju Island showed high species diversity except summer season. Richness indices and evenness indices is also. Western waters (Chagwi-do) in Jeju Island showed high species diversity in spring and summer comparison to autumn and winter. Species richness was same pattern, species evenness was a little low in summer and another seasons evenly. Southern waters (Segwi-po) in Jeju Island showed a highest species diversity in spring and winter, species richness showed a lowest in autumn and a highest in winter. Species evenness was a low in summer and winter, showed a high in spring and autumn. Northern waters (Jeju) in Jeju Island generally high species diversity and species richness and It showed high in spring and summer comparison to autumn and winter. Species evenness was evenly except summer season. Standing crops showed a lowest in winter and a highest in summer and a high in autumn comparison to spring. We found dominance species in this study *Chaetoceros affinis*(16.42%) and *Chaetoceros decipiens*(11.6%). Ecological indices showed high comparison to previous research.

**Keywords:** Jeju Island, Phytoplankton, Spatial-temporal variation

## 요 약

제주연안 식물플랑크톤 군집의 시공간적 특성을 파악하기 위해 제주대학교 조사선(제라호)을 이용하여 2015년 3월부터 2016년 2월까지 10개의 정점의 0, 30, 50m 수심에서 매일 관측한 수온, 염분, 용존산소 등 환경요인과 매일 채집한 식물플랑크톤 시료를 분석하였다. 조사기간 동안 제주연안의 수온은 0m에서 13.56~25.13℃의 범위를 보였고, 30m에서 13.58~21.52℃, 50m에서 13.68~ 19.78℃의 범위였고, 3월 0m에서 최소값을 8월 0m에서 최대값을 보였다. 염분은 0m에서 31.99~34.63psu, 30m에서 33.07~34.67, 50m에서 33.70~34.80psu의 범위였으며, 7월 0m에서 최소값, 3월 50m에서 최대값을 보였다. 용존산소(D.O)는 0m에서 5.08~6.73mg/L, 30m에서 5.72~8.09mg/L, 50m층에서 5.25~8.07mg/L를 보였고, 최소값은 7월 0m에서, 최대값은 3월 30m에서 나타났다. Fluorescence로 측정된 엽록소-a는 0m에서 0.23~2.06mg/m<sup>3</sup>, 30m에서 0.44~1.05mg/m<sup>3</sup>, 50m 에서 0.28~0.58mg/m<sup>3</sup> 였으며 최소값은 3월 0m에서 최대값은 6월 0m에서 보였다.

식물플랑크톤 현존량은 연중 5,281~639,934 cells/L의 범위를 나타내었으며, 7월 세화리 연안 30m에서 최소값을, 8월 표선리 연안 0m에서 최대값을 보였다. 수심별 평균 현존량은 0m에서 24,899~150,536 cells/L, 30m에서 20,619~78,505 cells/L,

50m에서 12,687~83258 cells/L를 나타내었다. 제주연안 식물플랑크톤 군집의 현존량은 보편적으로 2월에 최소치를 7월 8월에 최대치를 보였고, 수온과 염분의 수치는 전체적으로 높았으나 용존산소량은 낮게 나타났다. 해역별 현존량의 변화에 따라 추측해보면 제주북부해역은 제주에 영향을 주는 해류인 대마난류(Tsushima Warm Current; TWC)와 제주난류(Jeju Warm Current; JWC)의 직접적인 영향을 받지 않으며, 다른 해역은 대마난류와 제주난류의 직접적인 영향을 받고 있음이 추측되며, 제주서부해역과 남부해역은 장마기간인 6월에 현존량이 감소하는데 이것은 양쯔강 유출류(의 영향을 받아 염분 등 환경요인이 급변함에 따라 현존량이 감소하는 경향을 보이는 것으로 추측되며, 추후 정확한 요인을 밝힐 필요가 있다.

식물플랑크톤 군집의 연구결과는 각 계절별로 서로 다른 형태로 나타나며 이번 연구에서는 규칙성을 알아낼 수는 없었다. 생태지수의 계절적 변화에 따르면 제주동부해역(성산)은 여름을 제외한 봄, 가을과 겨울에 종이 다양하고, 종풍부도도 비슷한 경향을 보였으며, 여름한철을 제외하고 비교적 골고루 분포되어 있었다. 서부해역(차귀도)은 봄과 여름이 가을과 겨울보다 종이 다양하게 나왔으며, 풍부도면에선 봄 여름보다 가을 겨울이 풍부하게 나왔다. 균등도는 여름이 낮고 나머지는 골고루 분포되어 있었다. 남부해역(서귀포)은 봄과 겨울철에 종이 제일 다양하였고, 풍부도면에서 가을철이 제일 낮고 겨울철이 제일 높았고, 균등도는

여름철과 겨울철이 낮고 봄과 가을은 높은 수치를 나타냈다. 북부해역(제주)은 전체적으로 다양한 종이 풍부하게 분포되어 있으나, 봄과 여름이 가을 겨울보다 종이 더 다양하고 풍부하게 나왔다. 균등도는 여름철을 제외하고 비교적 균일하게 분포되어 있었다. 현존량은 1월최소치와 8월 최대치를 나타냈으며, 봄철보다 가을철에 현존량이 높았다. 본 연구에서 발견된 우점종은 *Chaetoceros affinis*(16.42%), *Chaetoceros decipiens*(11.6%) 이었으며, 생태지수는 전반적으로 높았다.

## 1. 서 론

식물플랑크톤은 수서생태계의 1차생산자로서 생태계 피라미드의 기반을 구성하는 중요한 요소이다. 이들은 광합성을 하여 각종 유기물을 화합하고 이들을 섭식하여 생활하는 1차 포식자들에게 지대한 영향을 끼치고 있다.

제주 주변해역은 다양한 수괴가 존재하는데 남부해역과 동부해역은 쿠로시오에서 분지하여 대한해협을 통과하여 동쪽으로 흐르는 대마난류(Tsushima Warm Current)의 영향, 서부해역은 중국대륙 연안수의 영향을 받고 있으며 북부해역은 황해 중앙저층 냉수와 한국연안수의 영향을 미치고 있다(Pang et al. 1996).

국립해양조사원([www.khoa.go.kr](http://www.khoa.go.kr), 2016)에 게시된 해류모식도를 보면 제주 연안에 영향을 미치는 해류는 동중국해와 황해로부터 제주도 북쪽과 남동쪽으로 유입된 해류가 제주도 동쪽 해역에서 만나서 형성되는 대마난류(Tsushima Warm Current; TWC)와 제주도 남쪽의 동중국해상에서 대마난류와 쿠로시오해류의 규수 서쪽 분지류의 영향을 받아 생성되어 제주를 시계방향으로 돌며 겨울철에 세력이 서쪽으로 확장되는 제주난류(Jeju Warm Current; JWC)가 있으며, 추가로 양쯔강으로부터 나오는 강물로 주변의 해수와 섞이며 저염수를 형성하며, 겨울에는 중국연안을 따라 남하하지만 여름에는 동중국해와 황해로 퍼지며 일부는 제주해협과 제주도 남쪽을 지나 동해로 유입되는 양쯔강 유출수(Yantze River Discharge Flow; YDF)가 표층 물성에 영향을 준다.

바람은 여름의 남동풍, 겨울에 북서풍이 우세하며 하계에는 태풍의 길목에 위치하고 있다. 이와 같은 물리적인 요건은 제주도 주변 해역의 식물플랑크톤 종조성과 생산량에 영향을 미치고 있다.

또한 제주도 해안은 용출되는 용천수와 강우시기에 집중 유입되는 육수의 영향을 받고 있다. 현무암으로 이루어져 다공질의 암석과 넓은 조간대가 형성되어 갯벌과 같은 자정작용이 용이하며 수 많은 조수 웅덩이가 발달되어 있다. 특징적인 암반조간대는 부착성 규조류를 비롯한 미세조류와 대형 해조류가 번무하여 제주도 해안선의 1차생산을 담당하며 풍부한 부착성 규조류를 섭식하는 소라, 전복 등 유용 무척추동물이 풍부한 특징을 보인다.

제주도 주변해역의 식물플랑크톤연구는 1960년대에 제주도 남방해역의 식물플랑크톤 현존량과 출현경향을 조사로부터 시작되었으며 그 후에 한국해협외의 조사정점에 포함되거나 또는 제주 주변해역을 중심으로 진행되었다. 1970년대는 동중국해의 미세플랑크톤 분포와 서귀포해역의 식물플랑크톤 계절변화에 대한 연구가 일부 이루어졌으나, 1980년대 들어 본격적인 연구가 수행되기 시작하여 주로 제주도 주변 해역별로 진행되었으며 식물플랑크톤의 현존량과 출현종의 분포에 관한 연구(고와 전, 1984; 이와 좌, 1990; 이 등, 1989, 1990, 1993, 1995; 윤 등, 1990, 1991, 1992), 식물플랑크톤의 chlorophyll *a*에 의한 생물량 연구(정 등, 1983; 전과 고, 1983; Shim and Park, 1984)와 Carbon-14 법에 의한 1차생산에 관한 연구(Shim and Park, 1986; 이등, 1989; Chung and Yang, 1991)등이 이루어졌다.

최근 제주도 해안을 중심으로 개발의 여파로 제주근해의 식물플랑크톤 군집에 관한 연구는 각종 환경보고서 또는 바다목장(윤, 2015)과 같이 특정 해역에 한정된 연구가 있었지만, 제주 연안 전 해역을 조사한 자료는 매우 부족한 실정이다.

본 연구는 2015년 3월부터 2016년 2월까지 매월 환경요인을 관측하고, 매월 채집한 식물플랑크톤 시료를 이용하여 시간적인 변화 특성과, 동일한 조사일 제주 연안의 정점별 식물플랑크톤의 분포를 분석하여 공간적 변화를 파악하였고, 기



발표된 식물플랑크톤의 자료와 비교하여 최근 기후 및 해양환경 변화에 따른 식물플랑크톤의 변화를 토의하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 시료채집

환경요인 관측과 생물시료 채집은 제주대학교의 연구 조사선(제라호)을 이용하여 제주연안 총 10개의 정점, 0m, 30m, 50m 의 3개 수심에서 2015년 3월부터 2016년 2월까지 매월 실시하였다(Fig. 1, Table 1)

관측된 환경요인은 수온, 염분, 용존산소(D.O)가 로젯형채수기에 장착된 CTD (Sea-Bird SBE 9 plus)를 이용하여 측정하였고, CTD에 장착된 Fluorescence 측정기로 엽록소-a 값을 측정하였다. 식물플랑크톤 채집은 Niskin채수기로 해수 1L를 채수하여 폴리에틸렌 병에 넣고 Lugol용액으로 최종농도 1%되게 고정하였으며, 동시에 식물플랑크톤NET (망목크기: 20 $\mu$ m)를 이용하여 50m수직 예인을 하여 formaldehyde 최종농도 1% 또는 glutaraldehyde 최종농도 2%로 고정하여 분석시료로 사용하였다.

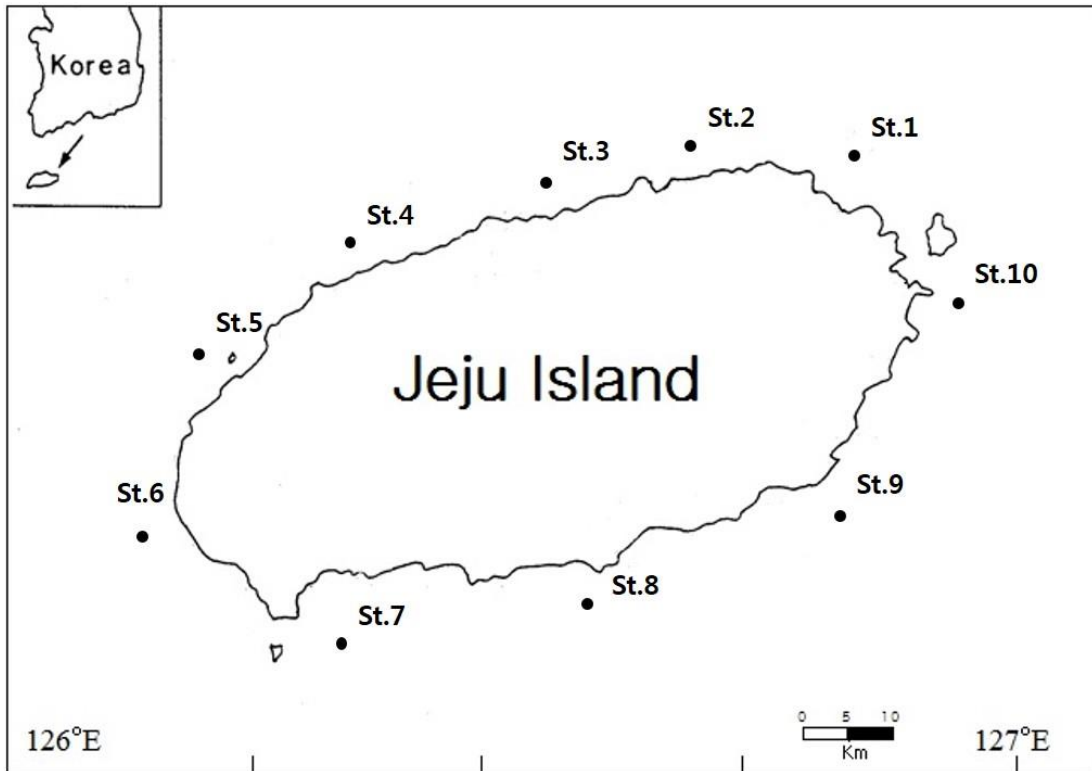


Fig. 1. Map showing sampling stations of coastal waters in Jeju.

Table 1. Geographic coordinate at sampling stations of coastal waters in Jeju

Station	Latitude	Longitude
St.1	N33°35'5"	E126°52'60"
St.2	N33°34'30.83"	E126°41'2.64"
St.3	N33°32'18"	E126°33'2.9"
St.4	N33°29'37.8"	E126°20'31"
St.5	N33°26'34.3"	E126°14'1.4"
St.6	N33°19'3"	E126°8'2.4"
St.7	N33°10'56.5"	E126°20'00"
St.8	N33°13'31.4"	E126°34'17.2"
St.9	N33°17'1.4"	E126°49'27.9"
St.10	N33°26'27"	E126°57'12"

## 2.2 식물플랑크톤 정량 및 정성분석

정량분석을 위하여 1L 채수병에 채수하여 Lugol용액으로 고정된 샘플은 하루 정치시킨 후 상등액을 제거하여 100ml로 농축시켜서 준비하였다. 농축된 시료 중 1ml을 Sedgwick-Rafter Chamber에 취한 후 광학현미경(Olympus, BX50)을 이용하여 계수한 후 단위면적당 세포수 (cells/L)로 환산하여 현존량으로 표시하였다.

정성분석은 계절별로 3월, 8월, 10월, 12월의 정량시료를 이용하여 종 동정을 실시하였다. 먼저 계수가 끝난 정량시료를 하루 이상 정치한 후 바닥에 가라앉은 시편에서 2~3군데를 취해 슬라이드글라스 위에 넣고 광학현미경(Olympus, BX50)으로 관찰하여 동정하였고, 현미경 사진은 촬영장치(JENOPTIK, ProgRes C3)을 이용하였다. 종 동정은 심(1994), Dodge (1982), Hoppenrath et al. (2014), Tomas(1993, 1996), Yamaji(1984)을 참고하였고, 분류체계는 학술적으로 공인된 AlgaeBase ([www.algaebase.org](http://www.algaebase.org)) site의 기록을 기준으로 정리하였다.

### 2.3 생태지수 및 집괴분석

식물플랑크톤 군집 분석을 위한 생태지수는 각 월별 종의 현존량과 출현종수와의 관계를 이용하여 4가지 생태지수를 각각의 공식을 이용하여 계산하였다. (Table 1)

- 1) 종다양성지수(species diversity index); 출현종의 다양성 정도를 지수로 나타냄
- 2) 종풍부도지수(species richness index); 출현종들의 풍부한 분포 정도를 의미함
- 3) 종균등도지수(species evenness index); 출현종들의 균등한 분포 정도를 의미함
- 4) 종우점도지수(species dominance index); 출현종들이 얼마나 우점하는가를 나타냄

종 구성과 현존량의 유사도를 비교하여 정점간 군집구조의 특성을 분석하기 위하여 집괴분석을 하였다. 먼저 Bray-Curitis지수(Bray and Curtis, 1957)로 각 정점간 각종의 현존량의 출현종간의 유사도 지수를 구한 후, 정점간 결합(linkage)은 Lance and Williams(1967)의 Linear Combinatorial equation을 이용한 가중 평균 결합법(WPGMA)으로 계산하여 PRIMER 5.0프로그램을 이용하여 그림으로 작성되었다.

Table 2. Formula of ecological index.

Ecological Index	Formula
Species diversity index (Shannon and Weaver, 1963)	$H' = \sum_{i=1}^s (Pi) \times \ln(Pi)$
Species richness index (Margalef, 1958)	$R = \frac{(S - 1)}{\ln(N)}$
Species evenness index (Pielou, 1966)	$J = \frac{H'}{\ln(S)}$
Species dominance index (McNaughton, 1968)	$D = \frac{Y1 + Y2}{Y}$

Pi: i번째 종의 점유율, S: 출현종수, N: 출현개체수, Y: 총 개체수,  
Y1, Y2: 우점종의 개체수

### 3. 결과

#### 3.1. 환경 요인

##### 3.1.1. 월별, 수심별 환경변화

조사기간(2015년 3월~ 2016년 2월)동안 제주연안의 평균수온은 0m에서 13.6~25.0℃의 범위를 나타내었고, 30m에서 13.6~21.3℃의 범위를 보였다. 평균 수온의 월별 변화를 보면 0m에서 3월이 제일 낮았고, 점차 증가하여 8월 최고치에 달했다가 10월부터 점차 낮아지는 추세를 보였다. 30m에서는 3월이 제일 낮았고 점차 증가하여 8월 최고치에 달했다가 10월부터 낮아지는 경향을 보였으며, 이러한 추세는 0m와 동일하였으나 0m와는 달리 8월에서 11월로의 변화가 서서히 변하는 형태를 보였다.

조사기간 동안의 수온의 변화는 3월 St.10 30m에서 12.6℃로 최소값을 8월 St.7 0m에서 27.5℃로 최대값을 나타냈으며, 정점별 변동폭은 수심 0m에서는 11월이 심하게 나타났으며, 8월과 10월도 비교적 높게 나왔다. 수심 30m에서는 8월이 제일 심했으며, 7월과 12월에 비교적 높은 경향을 보였다.

평균염분의 변화는 0m에서 33.6~35.0psu를 나타내었고, 30m층 32.0~35.3 psu의

범위를 나타냈으며, 월별 평균 염분의 변화를 보면 0m에서 3월이 제일 높았으며 조금씩 낮아지다가 7월이 최소값을 보인 후 다시 높아졌다. 30m에서 3월부터 7월까지 점차 낮아졌으나, 0m와는 달리 8월에 조금 높아졌다가 10월에 다시 낮아지고 그 후 다시 높아지는 변화를 보였다.

조사기간 동안의 염분의 변화는 7월 St.80m에서 31.5psu로 최소치를 3월, 4월 St.6 30m에서 35.3psu로 최대치를 나타내었으며, 정점별 변동폭은 수심 0m에서는 10월과 4월이 비교적 높았고, 수심 30m에서는 10월이 제일 높고, 4월 8월 11월 변동폭이 비교적 높았다.

평균 용존산소량(D.O.)은 수심 0m에서 5.1~6.7mg/L를 나타냈고, 30m층에서 5.7~8.1mg/L을 나타냈다. 월별 평균 용존산소량의 변화를 보면, 0m에서 3월부터 7월까지 점차 감소하고, 8월부터 점차 증가하다가 1월에 최대치를 나타내었다가 다시 감소하는 모습을 보였고, 30m에서는 3월부터 점차 감소하다가 8월에 잠깐 증가했다가 10월에 감소하였다가 1월까지 점차 증가하고 다시 2월에 감소하는 변화를 나타내었으며, 0m와는 달리 3월에 최대치를 나타내고 10월에 최소치를 나타냈다.

조사기간 동안의 용존산소량의 변화는 최소치는 8월 St.10 수심 0m에서 4.4mg/L였고, 최대치는 4월 St.5 0m층에서 8.4mg/L로 나타났다. 정점별 변동폭은 수심 0m에서 비교적 높게 나타났으며, 4월, 10월, 11월이 제일 높았고, 8월 10월도



비교적 높게 나타났다. 30m에서의 정점별 변동폭은 그리 높지 않게 나타났다.

평균엽록소-a량은 0m층에서 0.2~2.1mg/m<sup>3</sup>의 범위였고, 30m에서 0.4~1.0 mg/m<sup>3</sup>를 나타냈다. 월별 변화를 보면 0m에서 3월부터 6월까지 증가하다가 7월에 급격하게 떨어진 후 11월까지 서서히 증가하다가 2월까지 낮아지는 경향을 보였고, 30m는 3월부터 8월까지 증가하다가 10월에 급격하게 떨어진 후 2월까지 감소하는 변화를 보였다.

엽록소-a량의 변화는 최소치는 3월 수심 0m에서 0.2 mg/m<sup>3</sup>였고 최대치는 6월 수심 0m에서 2.1mg/m<sup>3</sup>으로 나타났으며, 정점별 변동폭은 수심 0m에서 6월이 높게 나타났고 5월과 8월이 비교적 높은 편이었다. 수심 30m에서는 8월 변동폭이 높았으며 나머지는 변동폭이 낮았다. (Fig. 2 - Fig.3, Table. 3 - Table. 6)

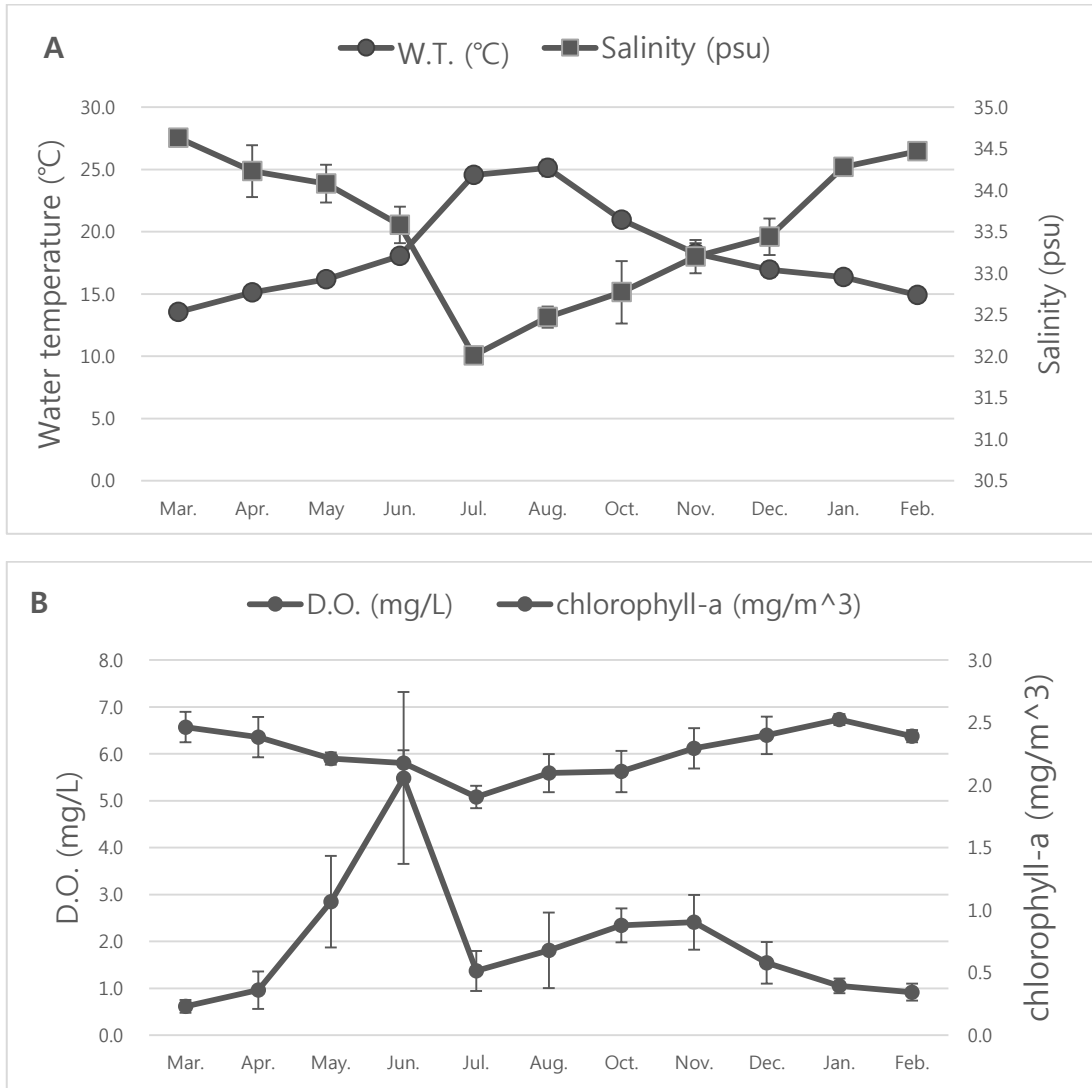


Fig. 2. (a) monthly variation of mean water temperature (°C) and mean salinity (psu), (b) mean DO (mg/L) and mean chlorophyll-a (mg/m<sup>3</sup>) at 0 m depth from Mar. 2015 to Feb. 2016.

Table. 3 Monthly variation of environmental factors at 0 m from Mar. 2015 to Feb. 2016.

(a) Water temperature (°C).

정점	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
St.1	13.2	15.2	15.5	18.2	24.6	25.0	20.3	19.2	16.3	16.5	15.4
St.2	13.6	14.4	15.8	18.6	25.3	24.1	20.2		15.9	15.4	13.9
St.3	13.2	15.1	16.2	18.6	24.7	25.3	20.8	20.0	16.2	15.8	14.1
St.4	13.4	16.0	16.6	17.7	24.8	26.8	20.7	17.8	15.5	16.2	14.0
St.5	13.5	16.2	16.8	17.1	24.7	24.8	20.9	16.4	16.2	16.3	14.2
St.6	13.6	13.6	16.2	18.6	25.1	24.4	20.6	16.3	16.4	16.5	14.7
St.7	13.9	15.9	15.6	17.3	24.1	27.5	21.2	16.6	18.5	16.5	15.1
St.8	14.3	15.6	16.8	18.5	24.4	23.8	21.9	17.7	18.2	16.7	15.7
St.9	14.2	14.8	16.6	18.0	24.2	26.2	22.0	20.3	19.0	16.9	16.0
St.10	12.7	14.5	15.6	17.8	23.6	23.4	20.9	20.0	17.3	16.8	16.1
Min	12.7	13.6	15.5	17.1	23.6	23.4	20.2	16.3	15.5	15.4	13.9
Max	14.3	16.2	16.8	18.6	25.3	27.5	22.0	20.3	19.0	16.9	16.1
Mean	13.6	15.1	16.2	18.0	24.6	25.1	21.0	18.3	17.0	16.4	14.9
SD	0.5	0.8	0.5	0.6	0.5	1.3	0.6	1.6	1.2	0.5	0.9

(b) Salinity (psu).

정점	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
St.1	34.5	33.2	33.6	33.0	32.0	32.5	32.7	32.8	33.2	34.4	34.6
St.2	34.7	33.9	33.5	33.7	32.0	32.8	32.0		33.2	34.1	34.3
St.3	34.6	33.1	33.4	32.9	32.2	32.4	31.8	33.7	33.1	34.2	34.3
St.4	34.7	34.7	34.4	33.4	32.1	32.2	31.6	33.5	32.8	34.3	34.3
St.5	34.6	34.8	34.5	34.0	32.2	32.5	32.6	33.3	32.9	34.3	34.4
St.6	34.6	34.6	34.7	33.0	32.0	32.4	33.5	33.4	33.6	34.3	34.5
St.7	34.6	35.0	34.2	34.0	32.2	32.1	33.8	32.4	33.9	34.3	34.5
St.8	34.9	34.6	34.5	34.0	31.5	32.7	33.8	32.9	34.1	34.3	34.6
St.9	34.7	34.3	34.3	33.8	31.8	32.2	33.0	33.2	34.0	34.2	34.6
St.10	34.4	34.1	33.7	34.0	32.1	32.9	32.9	33.6	33.6	34.4	34.6
Min	34.4	33.1	33.4	32.9	31.5	32.1	31.6	32.4	32.8	34.1	34.3
Max	34.9	35.0	34.7	34.0	32.2	32.9	33.8	33.7	34.1	34.4	34.6
Mean	34.6	34.2	34.1	33.6	32.0	32.5	32.8	33.2	33.4	34.3	34.5
SD	0.1	0.6	0.5	0.4	0.2	0.3	0.8	0.4	0.4	0.1	0.1

Table. 4 Monthly variation of environmental factors at 0 m from Mar. 2015 to Feb. 2016.

(a) DO (mg/L).

정점	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
St.1	6.5	6.7	5.9	6.1	5.1	6.3	5.6	6.9	5.7	6.8	6.3
St.2	6.6	6.7	5.6	6.3	6.3	5.7	5.4		6.1	6.9	6.4
St.3	6.0	5.5	5.5	4.9	4.7	7.0	6.6	5.2	6.6	7.0	6.7
St.4	6.9	6.0	5.8	5.1	5.4	5.4	6.0	5.4	6.8	6.8	6.5
St.5	6.9	8.4	6.3	5.2	4.8	5.0	7.5	5.9	7.0	6.9	6.5
St.6	6.2	6.1	5.9	6.0	4.6	4.8	4.6	7.5	5.1	6.5	6.6
St.7	6.9	5.6	6.0	6.0	4.8	6.5	4.6	5.9	7.0	6.3	6.6
St.8	5.5	5.9	5.7	6.2	5.1	5.6	5.3	5.0	6.2	6.5	6.3
St.9	7.9	5.8	6.2	6.4	4.9	5.3	5.3	6.8	5.7	7.0	6.2
St.10	6.4	6.9	6.0	5.8	5.2	4.4	5.3	6.5	7.8	6.6	5.8
Min	5.5	5.5	5.5	4.9	4.6	4.4	4.6	5.0	5.1	6.3	5.8
Max	7.9	8.4	6.3	6.4	6.3	7.0	7.5	7.5	7.8	7.0	6.7
Mean	6.6	6.4	5.9	5.8	5.1	5.6	5.6	6.1	6.4	6.7	6.4
SD	0.6	0.9	0.3	0.5	0.5	0.8	0.9	0.9	0.8	0.2	0.3

(b) Chlorophyll-a (mg/m<sup>3</sup>).

정점	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
St.1	0.1	0.1	0.7	0.4	0.1	0.1	0.9	0.8	0.5	0.4	0.2
St.2	0.2	0.3	0.7	0.9	0.2	0.2	0.7		0.5	0.3	0.2
St.3	0.5	0.4	1.2	1.2	0.5	0.6	0.8	0.7	0.3	0.4	0.3
St.4	0.2	0.1	0.5	1.6	0.9	0.2	1.1	0.4	0.3	0.3	0.5
St.5	0.2	0.2	1.5	1.1	0.5	0.6	0.7	1.5	1.4	0.3	0.4
St.6	0.2	0.1	0.5	2.9	1.1	0.4	0.5	0.3	0.4	0.3	0.4
St.7	0.1	0.2	0.7	1.2	0.2	0.2	0.8	1.5	0.4	0.4	0.3
St.8	0.2	0.7	2.9	3.5	0.8	1.8	1.3	1.2	0.7	0.5	0.6
St.9	0.3	1.1	1.3	4.4	0.5	0.9	1.2	0.9	0.5	0.7	0.5
St.10	0.3	0.3	0.7	3.5	0.4	1.7	0.7	0.8	0.9	0.3	0.2
Min	0.1	0.1	0.5	0.4	0.1	0.1	0.5	0.3	0.3	0.3	0.2
Max	0.5	1.1	2.9	4.4	1.1	1.8	1.3	1.5	1.4	0.7	0.6
Mean	0.2	0.4	1.1	2.1	0.5	0.7	0.9	0.9	0.6	0.4	0.3
SD	0.1	0.3	0.7	1.4	0.3	0.6	0.3	0.4	0.3	0.1	0.1

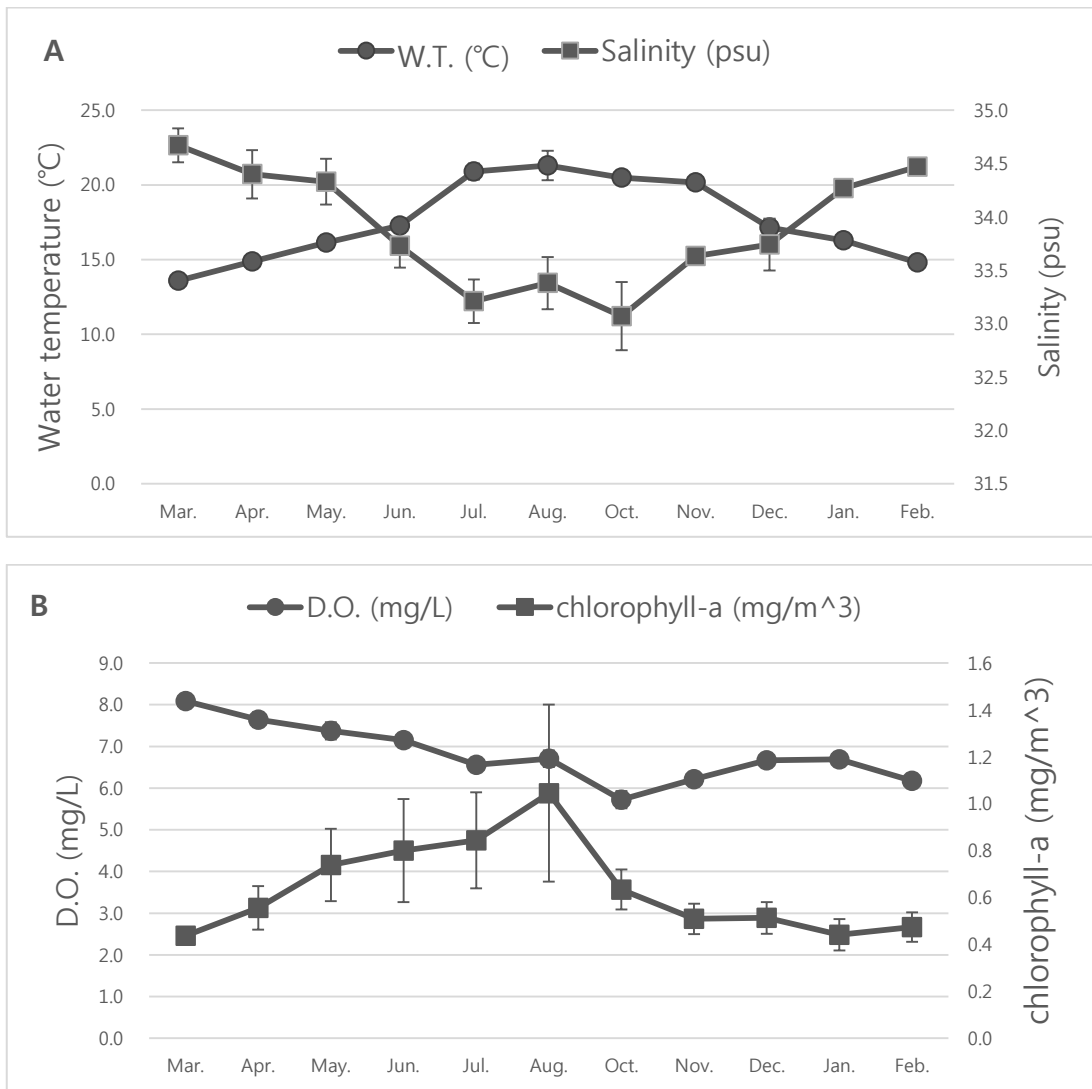


Fig. 3. (a) monthly variation of mean water temperature (°C) and mean salinity (psu), (b) DO (mg/L) and chlorophyll-a (mg/m<sup>3</sup>) at 30 m depth from Mar. 2015 to Feb. 2016

Table. 5 Monthly variation of environmental factors at 30 m from Mar. 2015 to Feb. 2016.

(a) Water temperature (°C).

정점	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
St.1	13.1	14.5	15.6	17.0	20.1	20.7	20.1	19.2	16.2	16.3	15.2
St.2	13.9	15.3	16.4	18.7	23.7	23.3	19.7		15.9	15.5	13.9
St.3	13.5	14.8	16.7	17.0	21.6	23.7	20.9	20.1	16.5	15.6	14.1
St.4	13.2	15.4	16.5	17.5	20.8	22.6	21.0	20.3	16.0	16.0	13.9
St.5	13.6	15.5	16.7	17.1	21.3	21.2	21.0	20.5	16.8	16.2	14.2
St.6	13.6	13.6	16.3	17.8	20.1	18.2	20.4	20.0	16.8	16.5	14.6
St.7	13.9	15.5	15.4	16.8	19.9	23.9	19.4	20.6	18.2	16.5	15.1
St.8	14.4	15.3	16.4	16.8	20.4	19.1	21.7	21.0	18.4	16.7	15.7
St.9	14.1	14.6	15.9	16.7	20.9	21.4	20.3	20.2	19.3	16.8	16.0
St.10	12.6	14.2	15.5	17.2	20.1	18.9	20.3	19.5	17.3	16.8	15.4
Min	12.6	13.6	15.4	16.7	19.9	18.2	19.4	19.2	15.9	15.5	13.9
Max	14.4	15.5	16.7	18.7	23.7	23.9	21.7	21.0	19.3	16.8	16.0
Mean	13.6	14.9	16.1	17.3	20.9	21.3	20.5	20.2	17.1	16.3	14.8
SD	0.5	0.6	0.5	0.6	1.1	2.0	0.6	0.5	1.1	0.4	0.7

(b) Salinity (psu).

정점	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
St.1	34.5	34.0	34.1	33.8	33.2	33.6	32.7	33.6	33.6	34.3	34.6
St.2	34.7	33.8	33.4	33.2	32.4	33.4	32.2		33.4	34.1	34.3
St.3	34.5	34.0	33.9	33.2	33.1	32.5	32.0	33.8	33.5	34.2	34.3
St.4	34.8	34.5	34.8	33.8	33.5	33.2	33.0	33.8	33.3	34.3	34.3
St.5	34.1	34.7	34.6	34.0	33.1	32.9	33.0	33.6	32.8	34.3	34.4
St.6	35.3	35.3	34.7	33.0	33.5	33.9	33.6	33.8	33.9	34.3	34.5
St.7	34.6	34.8	34.5	34.0	33.4	32.9	34.1	33.5	34.2	34.3	34.5
St.8	35.0	34.7	34.8	34.0	33.0	34.1	33.8	33.6	34.2	34.3	34.6
St.9	34.8	34.2	34.4	34.1	32.9	33.4	33.4	33.4	34.5	34.2	34.6
St.10	34.4	34.0	34.1	34.2	34.0	33.9	32.9	33.6	34.0	34.4	34.6
Min	34.1	33.8	33.4	33.0	32.4	32.5	32.0	33.4	32.8	34.1	34.3
Max	35.3	35.3	34.8	34.2	34.0	34.1	34.1	33.8	34.5	34.4	34.6
Mean	34.7	34.4	34.3	33.7	33.2	33.4	33.1	33.6	33.7	34.3	34.5
SD	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.1	0.5	0.1	0.1

Table. 6 Monthly variation of environmental factors at 30 m from Mar. 2015 to Feb. 2016.

(a) DO (mg/L).

정점	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
St.1	8.2	8.3	7.8	7.4	7.0	7.7	6.0	6.0	6.8	6.6	5.8
St.2	8.3	8.1	8.1	8.0	6.5	6.8	5.9		6.9	7.0	6.2
St.3	8.2	7.7	7.7	6.9	6.1	6.7	5.4	6.3	6.5	7.1	6.4
St.4	8.1	7.5	7.0	7.0	6.0	6.7	6.0	6.2	7.0	6.9	6.4
St.5	8.1	7.3	7.0	6.8	6.4	6.8	6.3	6.4	6.4	6.8	6.5
St.6	8.0	7.3	6.9	7.1	6.5	6.1	5.8	5.9	6.6	6.5	6.4
St.7	7.9	7.2	7.0	6.8	6.6	6.5	5.6	6.3	6.5	6.3	6.2
St.8	8.0	7.3	7.1	7.0	6.8	6.4	4.7	6.3	6.7	6.2	6.2
St.9	7.9	7.8	7.4	7.3	6.8	7.0	5.6	6.6	6.7	7.0	5.9
St.10	8.3	8.0	7.9	7.4	7.0	6.5	6.0	5.9	6.7	6.6	5.8
Min	7.9	7.2	6.9	6.8	6.0	6.1	4.7	5.9	6.4	6.2	5.8
Max	8.3	8.3	8.1	8.0	7.0	7.7	6.3	6.6	7.0	7.1	6.5
Mean	8.1	7.6	7.4	7.1	6.6	6.7	5.7	6.2	6.7	6.7	6.2
SD	0.1	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2

(b) Chlorophyll-a (mg/m<sup>3</sup>).

정점	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
St.1	0.4	0.4	0.8	0.7	1.8	3.1	0.8	0.4	0.4	0.4	0.4
St.2	0.4	0.6	1.2	1.8	1.3	0.6	0.6		0.4	0.4	0.4
St.3	0.6	0.7	1.1	0.4	0.8	0.8	0.4	0.7	0.3	0.5	0.4
St.4	0.5	0.5	0.3	0.6	0.7	1.1	0.5	0.4	0.6	0.4	0.5
St.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.9	1.2	0.7	0.4	0.4	0.4	0.4
St.6	0.4	0.4	0.7	1.0	1.0	0.5	0.5	0.4	0.5	0.3	0.4
St.7	0.3	0.5	0.5	0.4	0.4	0.7	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
St.8	0.5	0.6	0.9	0.9	0.5	0.4	1.0	0.5	0.7	0.4	0.6
St.9	0.5	1.0	0.4	0.4	0.5	0.9	0.4	0.8	0.8	0.8	0.7
St.10	0.5	0.5	1.2	1.3	0.7	1.3	0.8	0.4	0.6	0.4	0.7
Min	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4
Max	0.6	1.0	1.2	1.8	1.8	3.1	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
Mean	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8	1.0	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5
SD	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.8	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1

## 3.2 제주연안 식물플랑크톤 군집의 월별, 계절별 동태 특성

### 3.2.1 월별 현존량

조사 기간 중 제주 연안 식물플랑크톤 군집의 현존량은 5,281~639,934 cells/L의 범위를 나타내었으며, 8월 St.7 30m에서 최소치를 8월 St.9 0m에서 최대치를 나타냈다. 월평균 현존량의 변화를 보면 3월 37,353 cells/L에서 4월 48,761 cells/L로 증가하였고, 5월 45,704 cells/L로 소폭 감소하였다가 6월에 조금 증가하였고, 7월은 78,200 cells/L로 6월보다 급격하게 증가하여 8월에 106,579 cells/L로 최대치를 나타내었다. 그 후, 11월까지 점차 감소하다가 12월에는 67,767 cells/L로 증가한 후 다시 1월에 급격하게 떨어지고 2월에는 21,073 cells/L로 연중 최소치를 나타내었다.

(Fig. 4)

제주연안 식물플랑크톤 군집의 수심별 평균현존량은 0m에서 24,899~150,536 cells/L의 범위를 나타냈고, 30m에서 20,619~78,505 cells/L, 50m에서 12,687~83,258 cells/L를 나타내었다. (Fig. 5)



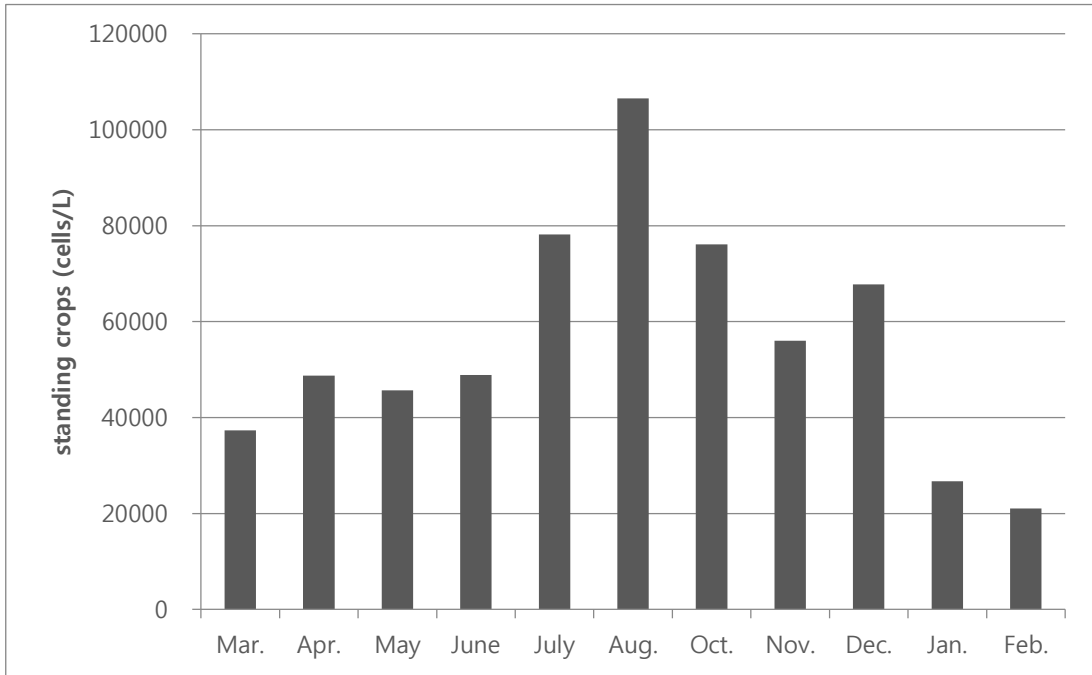


Fig. 4. Monthly variation of mean standing crops in the coastal waters of Jeju Island. (Mar. 2015~Feb. 2016)

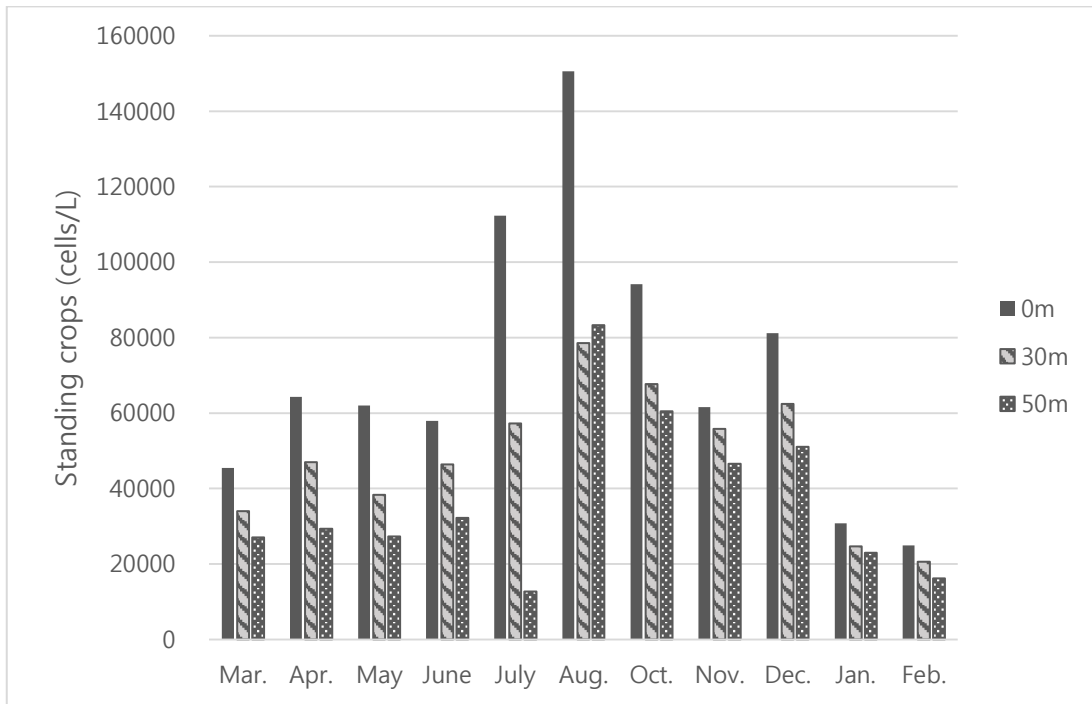


Fig. 5. Monthly variation of standing crops in Jeju coastal waters by depth. (Mar. 2015 ~Feb. 2016)

### 3.2.2 계절별 종조성 및 우점도

연구기간(2015년 3월~2016년2월)동안 발견된 제주연안 식물플랑크톤은 총 386 종이 발견되었으며, 이 중 87종이 국내 미기록종 이었다. (국가생물종목록집, 2015년 기준) 최다 출현종은 *Hillea marina*가 41.67%로 차지하였고, 규조류중에서는 *Actinocyclus senarius*가 20.83%를 차지하였고, 와편모조류중에서는 *Gymnodinium microreticulatum*이 21.67%로 최다 출현하였다. 우점종은 규조류인 *Chaetoceros affinis*(16.42%), *Chaetoceros decipiens*(11.6%)가 차지하였다.

2015년 봄철(3월) 제주 연안 0m층의 플랑크톤 군집은 총 156종이 발견되었다. 출현 종의 구성비는 그 중 규조류가 55%로 우세하였고 와편모조류 28% 기타편모조류 17%로 와편모조류의 점유율이 두 배 가량 높아진 경향을 보였다. 30m층은 총137종이 발견되었고 규조류 56%, 와편모조류 27%, 기타편모조류 17%로 규조류가 우세하였고, 50m 층은 총 74종이 발견되었고, 그 중 규조류가 56%, 와편모조류 25%, 기타편모조류 19%로 역시 규조류가 우세하였다.

2015년 여름철(8월) 제주연안 플랑크톤 군집은 0m층에서 총 134종이 발견 되었다. 규조류가 80%로 거의 대부분을 차지하였고, 와편모조류 15%, 기타편모조류 5%였다. 30m층에서는 총 118종이 발견 되었으며, 구성비는 규조류 79%, 와편모조류 13%, 기타편모조류 8%로 규조류가 대부분을 차지하였다. 우점종은 규조류인 *Chaetoceros contortus*가 12.84%로 차지하였다. 50m층에서는 총

114종이 발견되었고, 규조류 53%, 와편모조류 32%, 기타편모조류 15%로 여전히 규조류가 우세하나, 와편모조류의 점유율도 약간 높아졌다.

2015년 가을(10월) 제주연안 플랑크톤 군집은 수심 0m에서 총 114종이 발견되었다. 그 중 규조류가 52%로 우세하였고 와편모조류 32%, 기타편모조류가 16%를 차지하였다. 수심 30m에서는 총 117종이 발견되었고, 이 중 규조류가 58%로 우세하였고, 와편모조류 27%, 기타편모조류 15%의 구성비를 보였다. 수심 50m에서는 총 59종이 발견되었고, 구성비로는 규조류 53%, 와편모조류 32%, 기타편모조류 15%를 차지하였다.

2015년 겨울(12월) 제주연안 플랑크톤 군집은 수심 0m에서 총 127종이 발견되었고, 구성비는 규조류 60%, 와편모조류 25%, 기타편모조류 15%로 규조류가 우세하였다. 30m층에서는 총 128종이 발견되었고, 구성비는 규조류 62%, 와편모조류 26%, 기타편모조류 12%로 규조류가 우세하였다. 수심 50m층에서는 총 66종을 발견하였고, 규조류 55%, 와편모조류 30%, 기타편모조류 15%의 구성비로 규조류가 우세하였다. (Fig. 6 - Fig .8)

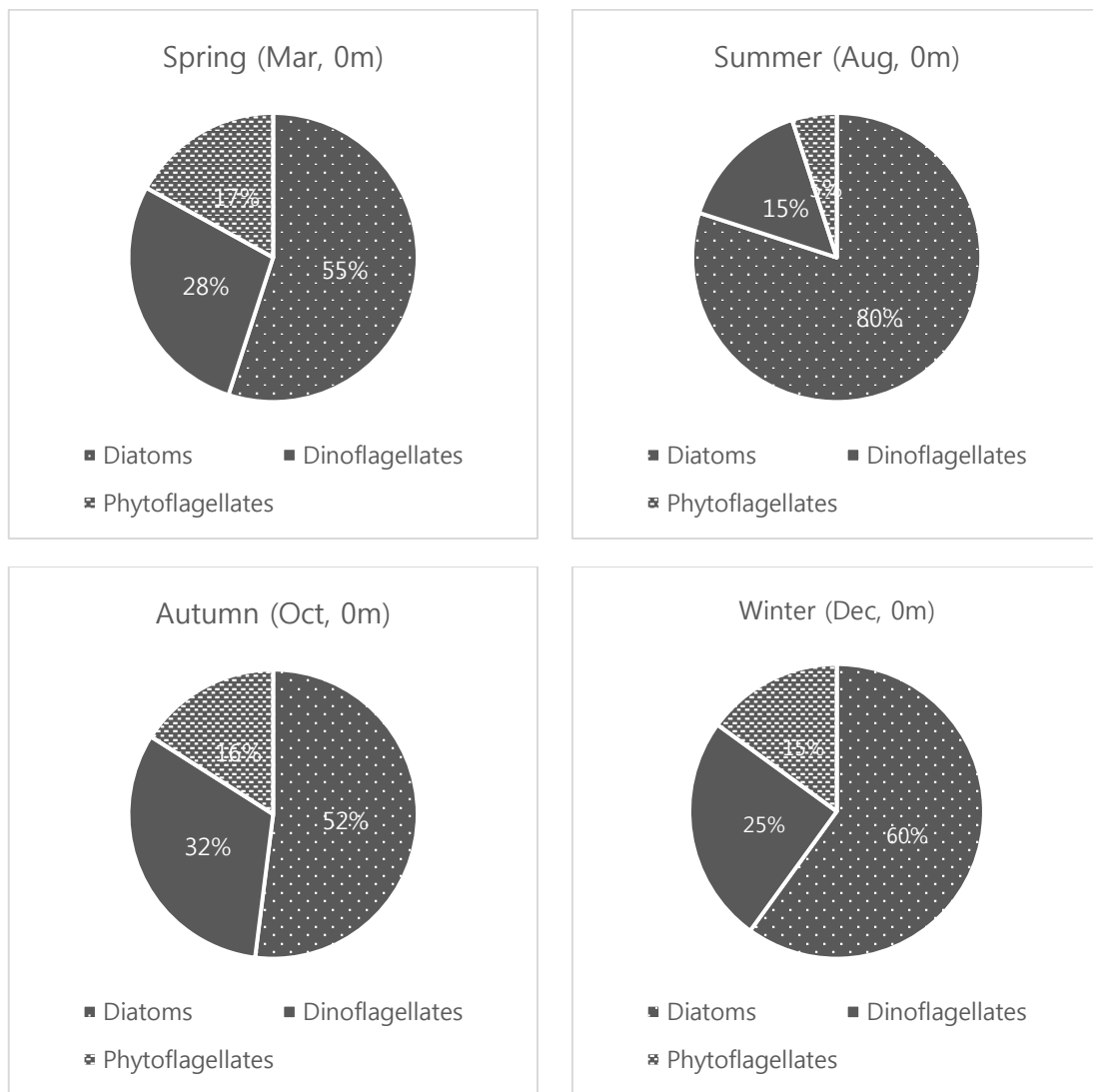


Fig. 6. Seasonal variations of phytoplankton occupancy rate (%) at 0m depth in Jeju coastal waters.

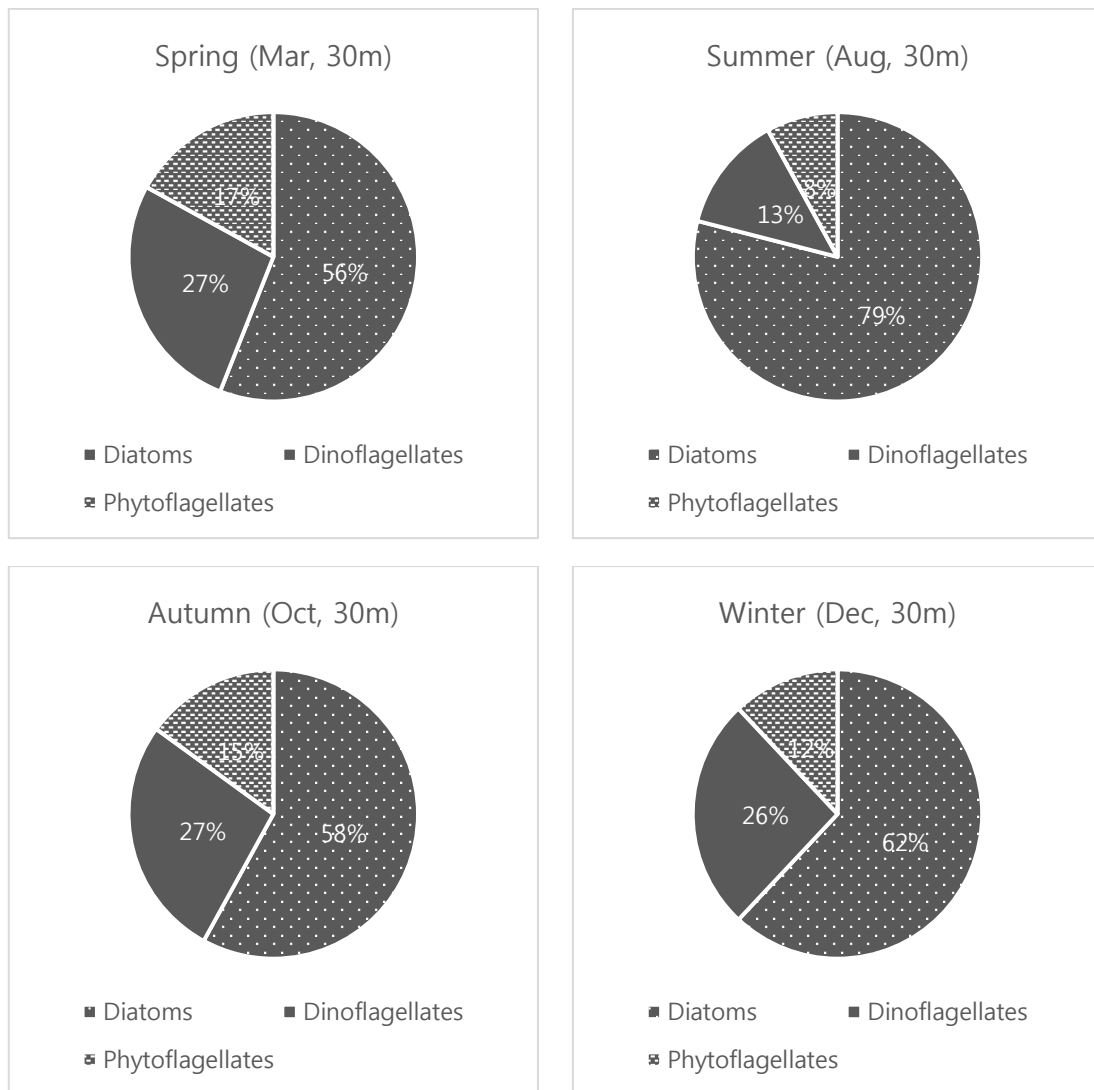


Fig. 7. Seasonal variations of phytoplankton occupancy rate (%) at 30m depth in Jeju coastal waters.

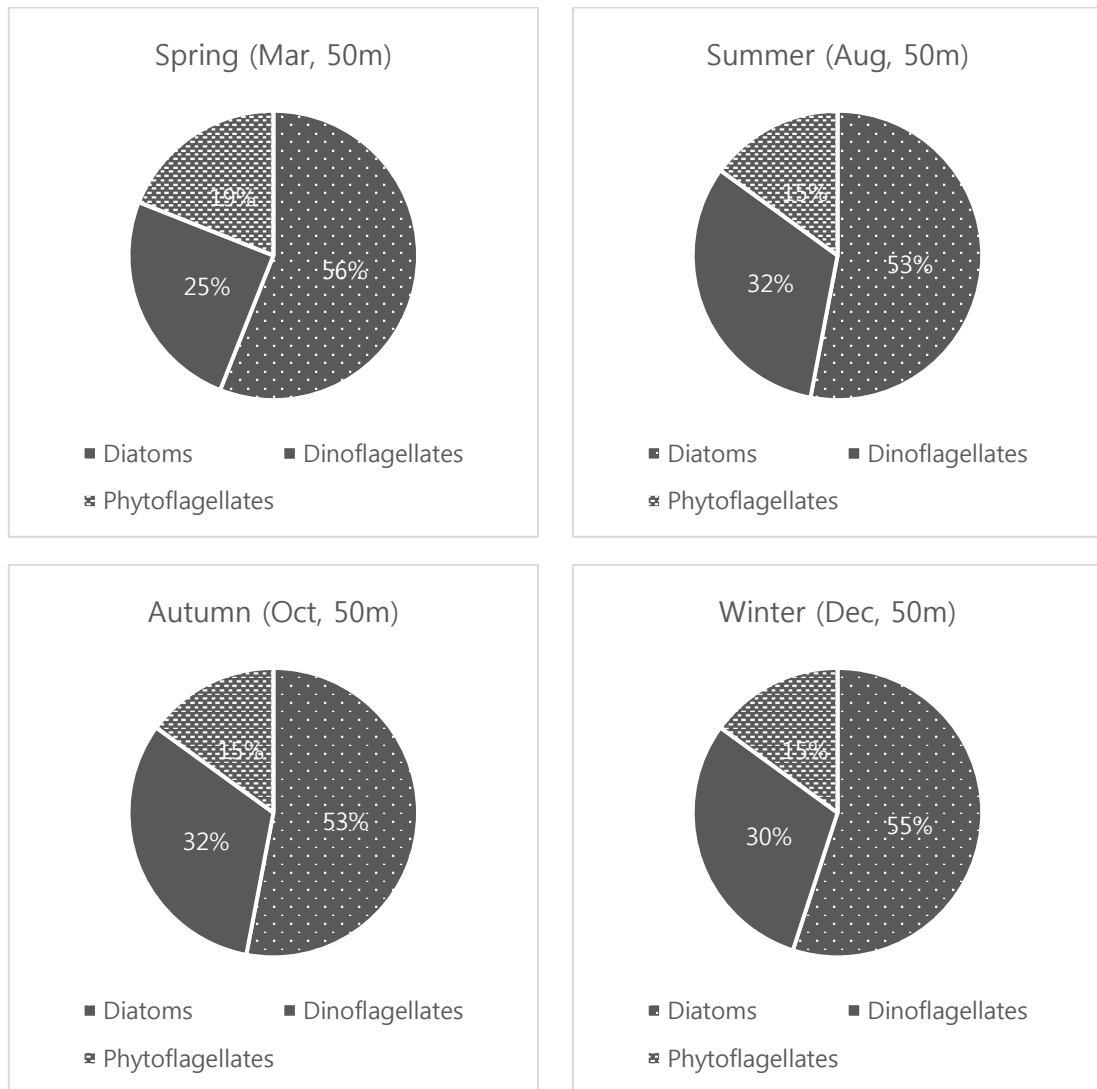


Fig. 8. Seasonal variations of phytoplankton occupancy rate (%) at 50m depth in Jeju coastal waters.

### 3.2.3 계절별 집괴분석

제주연안 식물플랑크톤 군집의 집괴분석 결과 봄철(3월) 0m에서의 유사도에 따라 묶어보면 St.5, St.6이 유사도 23.46%으로 하나의 그룹을 형성하고(그룹A), St.9와 St.10이 유사도 21.54%로 그룹을 형성하였다(그룹B). St.1, St.2가 유사도 21.26%로 그 다음 그룹을 형성하였다(그룹C). 결과적으로 봄철(3월) 0m에서의 유사도 20%이상의 그룹은 St.5, St.6, St.9, St.10, St.1, St.2가 3개의 그룹을 형성하였으며, 형성된 그룹 중 유사도 30%이상의 그룹은 없었고, 20%이상의 그룹은 3개였다. 30m에서는 St.4, St.6이 유사도 26.89%로 그룹을 형성하였고 (그룹A), St.2, St.3이 유사도 22.26%로 또 다른 그룹을 형성하였다 (그룹B). 결과적으로 3월 30m에서의 그룹은 St.4, St.6, St.2, St.3이 2개의 그룹을 형성하고, 유사도는 전반적으로 낮은 편이었으며, 30%가 넘는 그룹은 없었고 20%가 넘는 그룹만 2개가 형성 되었다. (Fig. 9)

여름철(8월) 0m에서의 결과는 St.4, St.5이 유사도 49.04%로 묶인 그룹(그룹A)과 St.8이 유사도 40.28%로 하나의 그룹을 형성하였고 (그룹A1), 그룹A1은 유사도 25.32%로 St.9와 그룹을 형성했다 (그룹A2). 그룹A2는 St.3와 St.6이 유사도 31.85%로 형성한 그룹 (그룹B)과 유사도 20.43%로 그룹을 형성하였다 (그룹A2B). 결과적으로 여름철(8월) 0m에서의 군집은 St.4, St.5, St.8, St.9, St.3, St.6가 중복되어 결합하는 5개의 그룹을 형성하였다. 이 지역에서 20%이상의 유사도를 보이는 그룹은 5개였고 그 중 30%이상의 유사도를 보이는 그룹은 3개였다. 30m 에서는 St.4, St.5가 유사도 40.58%로 하나의 그룹을 형성하였고 (그룹A), St.3, St.8이 유사도 38.64%로 또 하나의 그룹을 형성하였다 (그룹B). 그룹A와 그룹B는 다시 유사도 31.76%로 새로운 그룹을 형성하였고 (그룹AB), 그룹AB는 St.1과 St.2가 유사도 29.19%로 형성된 그룹(그룹C)와 유사도 21.63%로 그룹을 형성하였다



(그룹ABC). 그룹ABC는 St.6과 유사도 20.46%로 새로운 그룹이 되었다. 더해서 St.9, St.10이 유사도 22.5%로 그룹을 형성하였다 (그룹E). 결과적으로 30m에서는 St.4, St.5, St.3, St.8, St.1, St.2, St.6, St.9, St.10이 6개의 그룹을 형성하였다. 20%이상의 유사도를 보이는 그룹은 6개였고, 이 중 30%이상의 높은 유사도를 보인 그룹은 3개였다. (Fig. 10)

제주연안 가을철(10월) 식물플랑크톤 군집은 0m 에서 20%이상의 유사도를 보인 그룹은 없었으며 전체적으로 유사도가 매우 낮았다. 결과적으로 가을철(10월) 0m식물플랑크톤 그룹은 특정되는 그룹이 형성되는 결속도가 매우 낮음을 알 수 있었다. 30m에서의 그룹은 St.1, St.8이 유사도 21.37%로 형성된 그룹 (그룹A)을 제외하고는 없었다. 20%이상인 유사도를 가지는 군집은 1개였고 전체적으로 유사도가 낮게 나왔다. 최종적으로 10월 30m에서는 특정되는 그룹들 간의 결속도는 낮았다. (Fig. 11)

겨울철(12 월) 제주연안 식물플랑크톤 군집의 분석 결과는 0m 에서 St.5, St.8 이 유사도 26.82%로 형성된 그룹 (그룹 A)과 St.3, St.4 가 유사도 24.56%로 형성된 그룹(B)과, St.1, St.10이 22.65%로 형성한 그룹(그룹C)와 St.2, St.6이 유사도 20.19%로 결합한 그룹 (그룹 D)가 있었다. 최종적으로 0m 에서는 St3, St.4, St.1, St.10, St.2, St.6 이 4 개의 그룹을 형성함을 알 수 있었다. 20%이상의 유사도를 가지는 그룹은 4 개였다. 30m 에서는 St.3, St.7 이 유사도 22.42% 로 형성된 그룹 (그룹 A)와 St.2, St.4 가 유사도 21.36%로 형성한 그룹 (그룹 B)가 있었다. 20%이상의 유사도를

가지는 군집은 2 개였으며, 결과적으로 12 월 30m 의 그룹은 St.3, St.7, St.2, St.4 가  
2 개의 그룹을 형성함을 알 수 있었다. (Fig. 12)

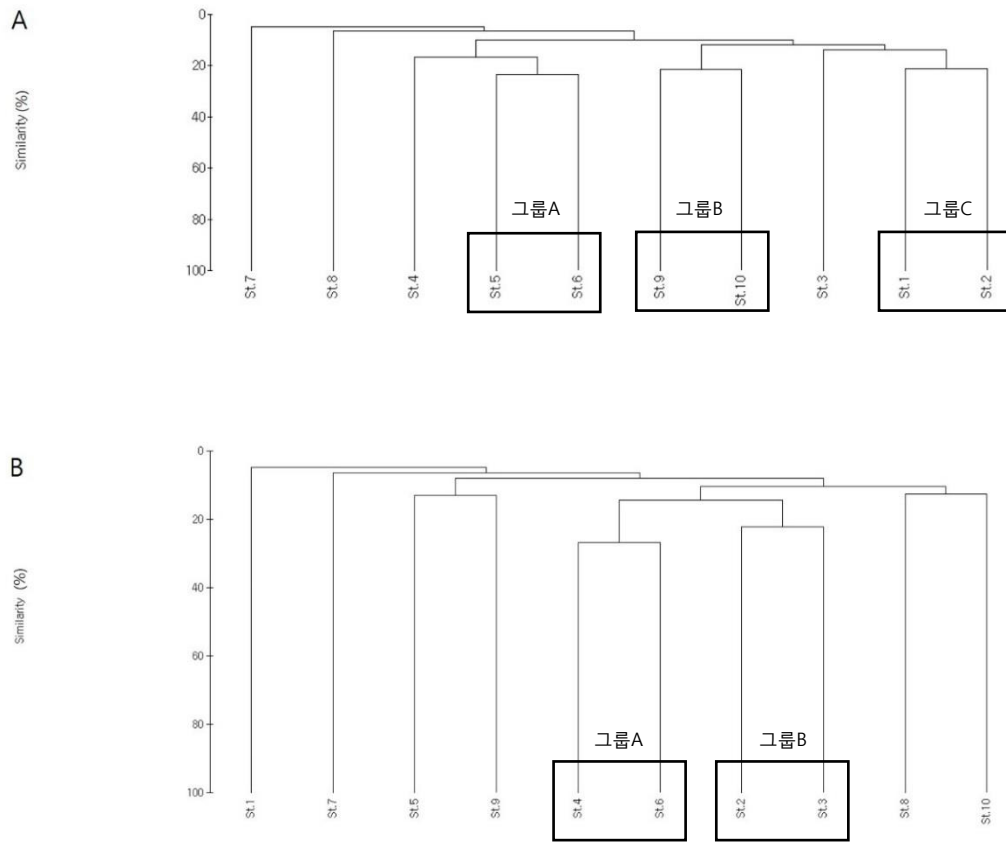


Fig. 9. Cluster analysis of phytoplankton community at 0m (a) and 30m (b) depth in spring (Mar)

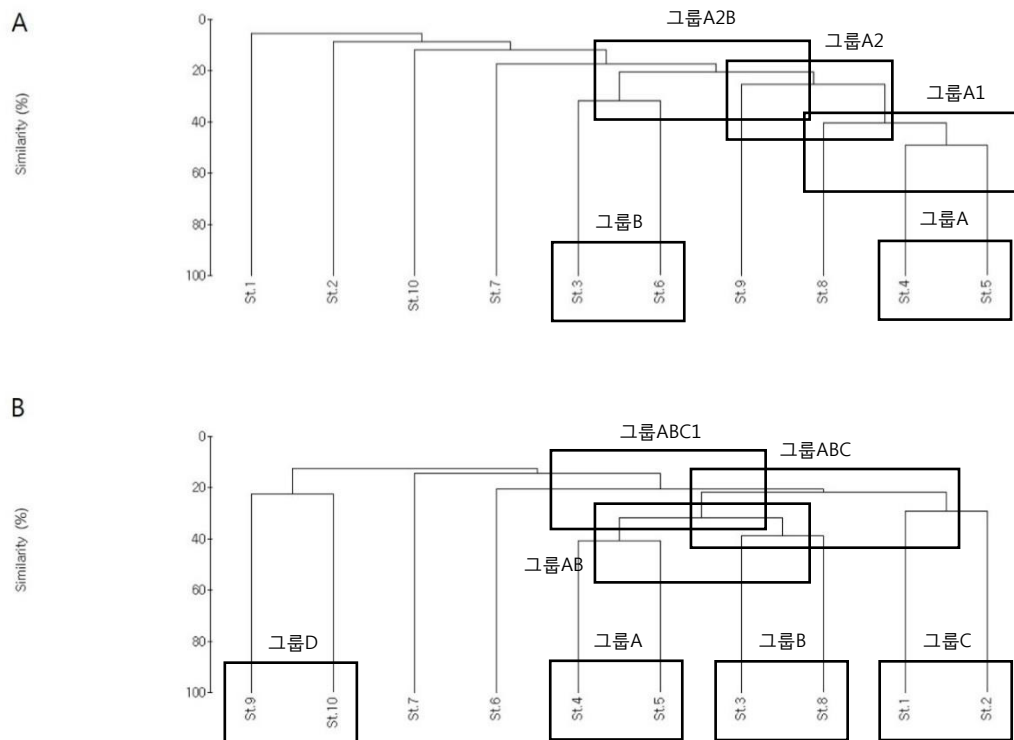


Fig. 10. Cluster analysis of phytoplankton community at 0m (a) and 30m (b) depth in summer (Aug).

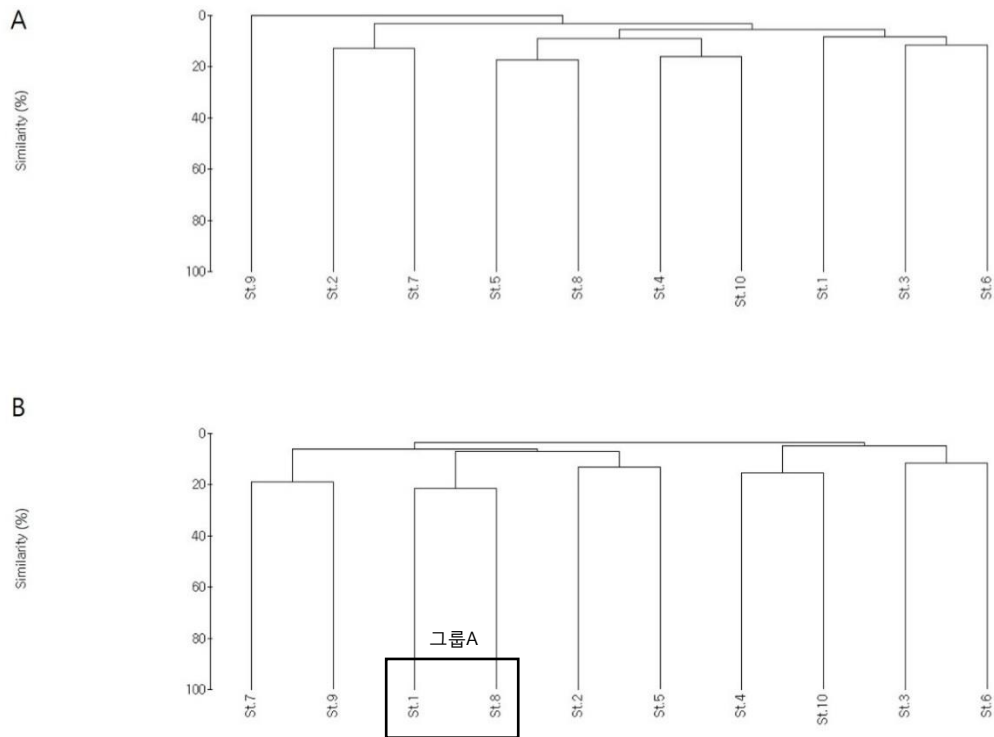


Fig. 11. Cluster analysis of phytoplankton community at 0m (a) and 30m (b) depth in autumn (Oct).

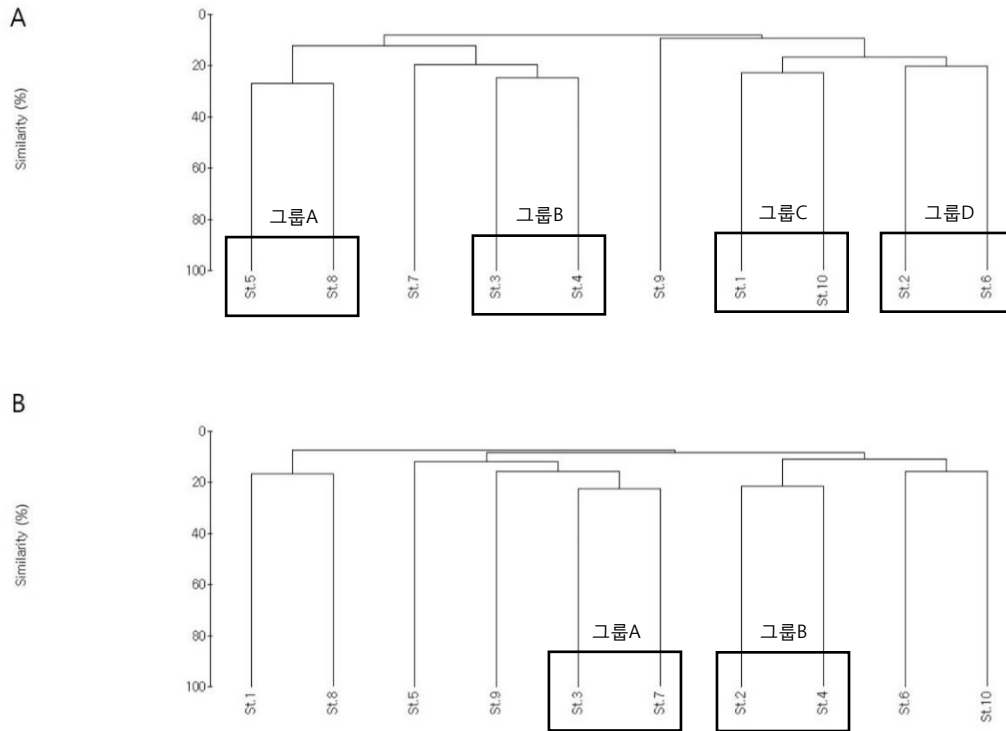


Fig. 12. Cluster analysis of phytoplankton community at 0m (a) and 30m (b) depth in winter (Dec)

### 3.3 제주연안 식물플랑크톤 군집의 해역별 동태 특성

#### 3.3.1 현존량에 따른 지역별 특성

제주 연안 식물플랑크톤 군집의 지역별 생태를 알기 위해서 제주 연안 10 개 정점 중 4 곳을 지역별 대표 정점을 지정하여 각각 동부해역(St.10, 성산), 서부해역(St.6, 차귀도), 남부해역(St.8, 서귀포), 북부해역(St.3, 제주항)의 총 4 개의 해역으로 구분하여 데이터를 분석하였다.

제주 연안 식물플랑크톤 군집의 지역별 현존량의 변화는 제주동부해역(성산) 수심 0m에서 18,612~192,620 cells/L였고, 30m 11,340~108,750 cells/L, 50m 12,083~103,587 cells/L였으며 7월 30m에서 최소치를 8월 0m에서 최대치를 나타내었다. 규조류가 전계절에 걸쳐 40-74%를 점유하였고, 와편모조류는 봄, 가을, 겨울에 26-33%를 점유하였으며, 기타편모조류는 하계와 동계에 18%-33%를 점유하였다. 제주서부해역(차귀도)은 수심 0m에서 23,658 cells/L~181,941 cells/L였고, 30m에서는 18,417~113,167 cells/L를 나타내었으며, 1월 30m에서 최소치를 7월 0m에서 최대치를 나타내었다. 규조류가 전계절에 걸쳐 48-79%를 점유하였고, 와편모조류는 봄, 가을에 30-36%를 점유하였다. 기타편모조류는 봄에 번성하고

여름철에 최소치를 차지하면서 3-22%를 점유하였다. 제주남부해역(서귀포)은 수심 0m에서 27,170~206,915 cells/L였고, 30m 19,922~ 96,708 cells/L, 50m 15,633~76,500 cells/L였다. 2월 30m에서 최소치를 8월 0m에서 최대치를 나타냈으며, 다른 해역과는 다르게 10월과 12월 현존량이 높게 나타났다. 규조류가 전계절에 걸쳐 58-94%를 점유하였고, 와편모조류는 봄철에 가장 많았고 여름철에 제일 적은 4-27%를 점유하였다. 기타편모조류는 봄철에 최대치 여름철에 최소치를 나타내며 2-27%를 점유하였다. 제주북부해역(제주)은 수심 0m에서 27,393~197,750 cells/L였고, 30m에서 20,162~121,917 cells/L로 나타났다. 최소치는 2월 30m에서 최대치는 7월 0m에서 나타났다. 규조류가 전계절에 걸쳐 50-99%를 점유하였고 와편모조류는 봄, 가을에 최고치를 겨울에 최소치를 나타내어 18-35%를 점유하였다. 기타편모조류의 점유율은 4-17%로 겨울에 최대치를 봄에 최소치를 나타내었다. (Fig. 13- Fig. 16)



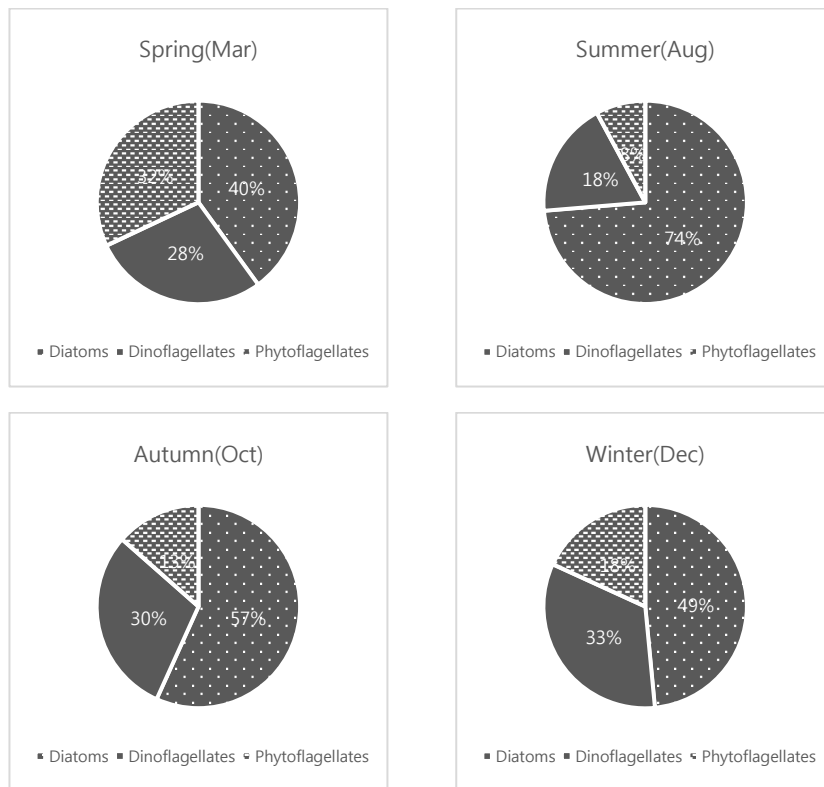
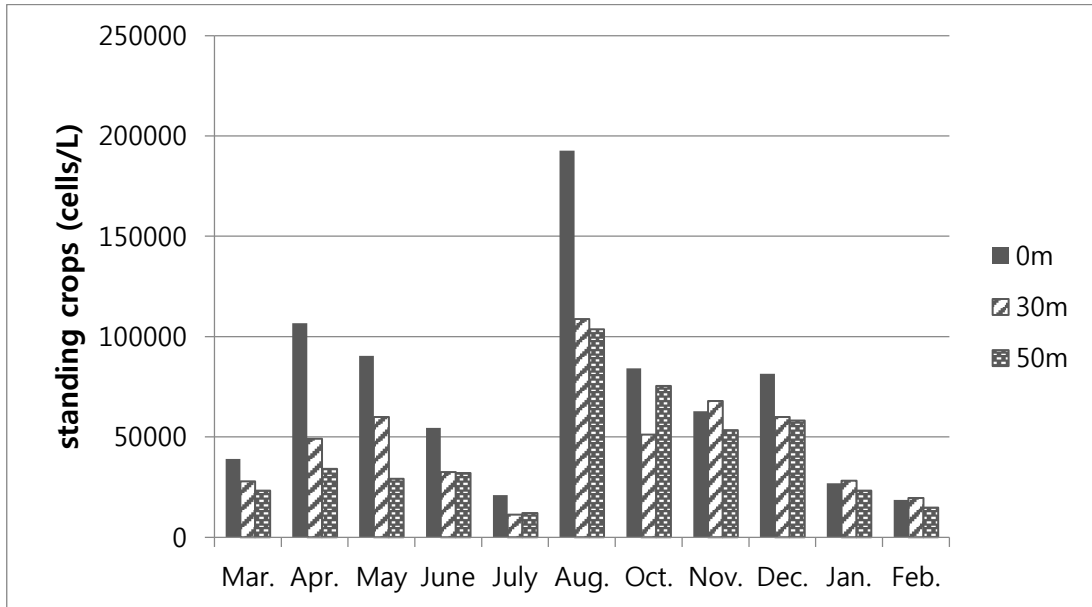


Fig. 13. Standing crops and occupancy rate (%) of the eastern Jeju Island (Sung-san).

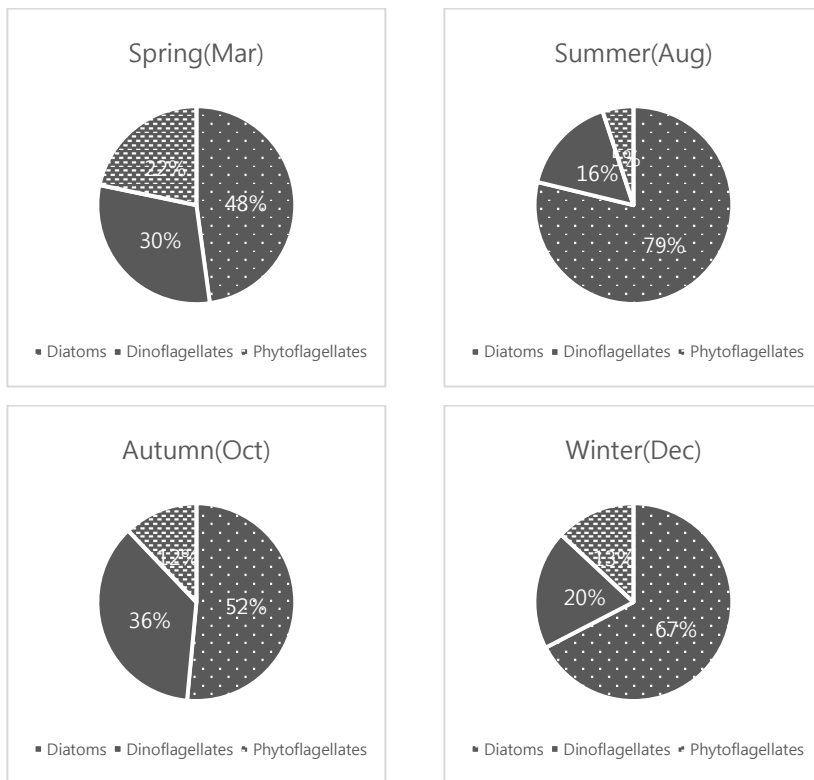
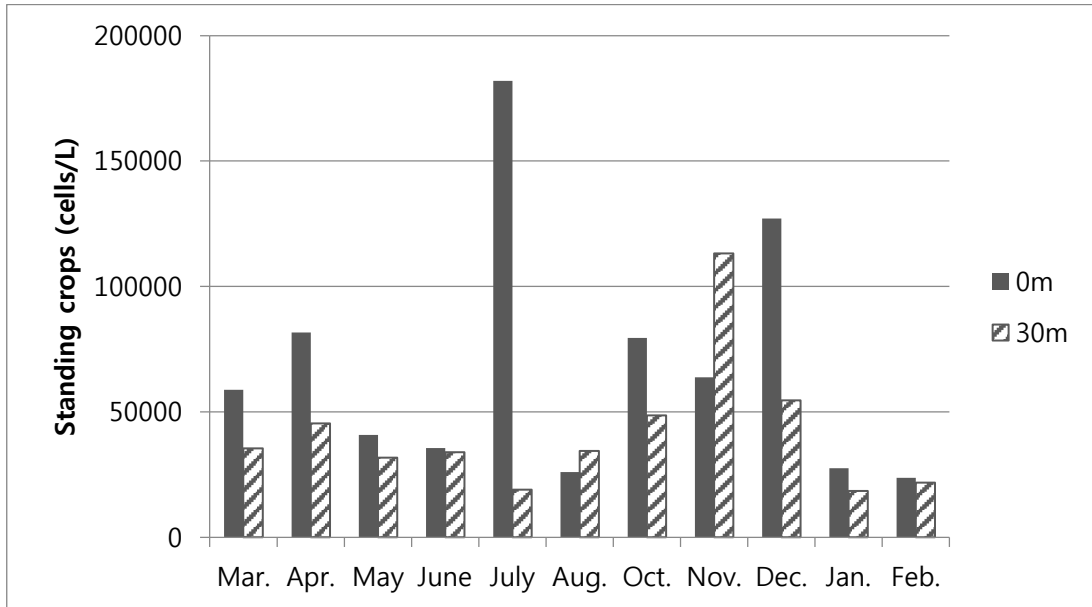


Fig. 14. Standing crops and occupancy rate (%) of the western Jeju Island. (Chagwi-do)

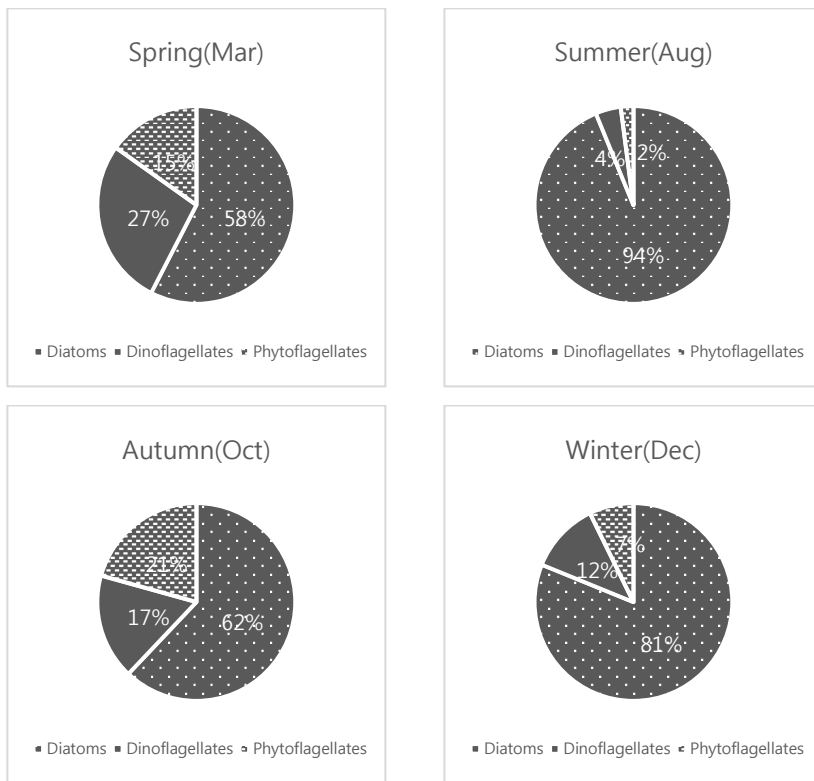
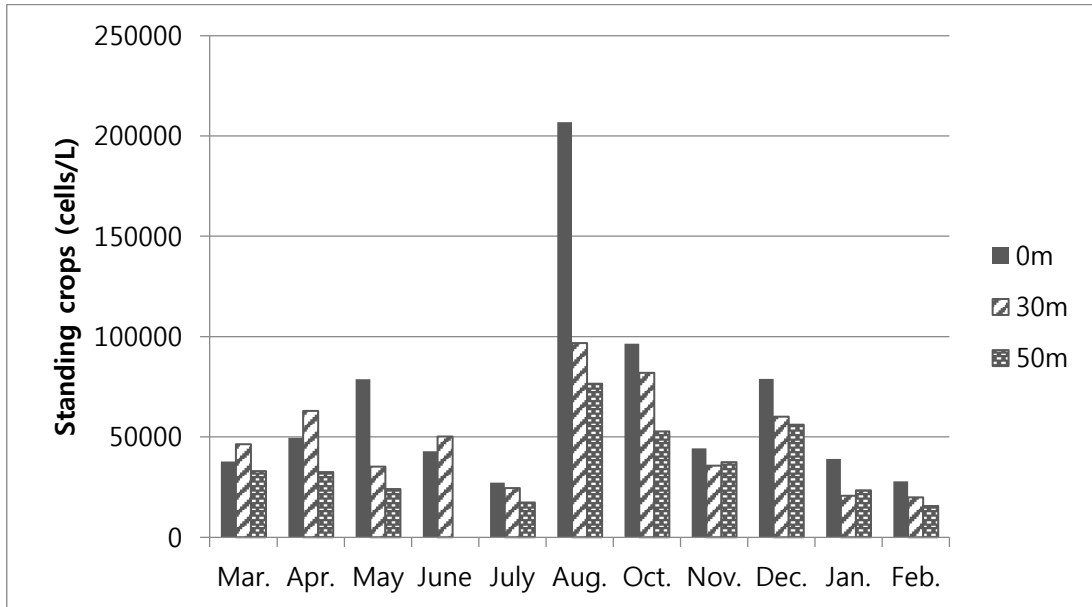


Fig. 15. Standing crops and occupancy rate (%) of the southern Jeju Island. (Seogwi-po)

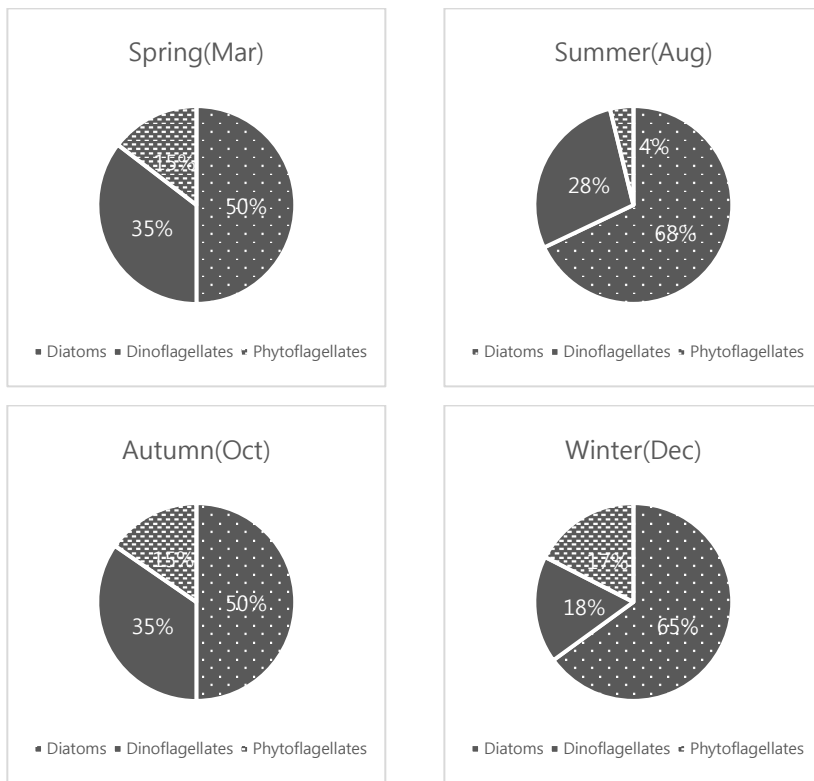
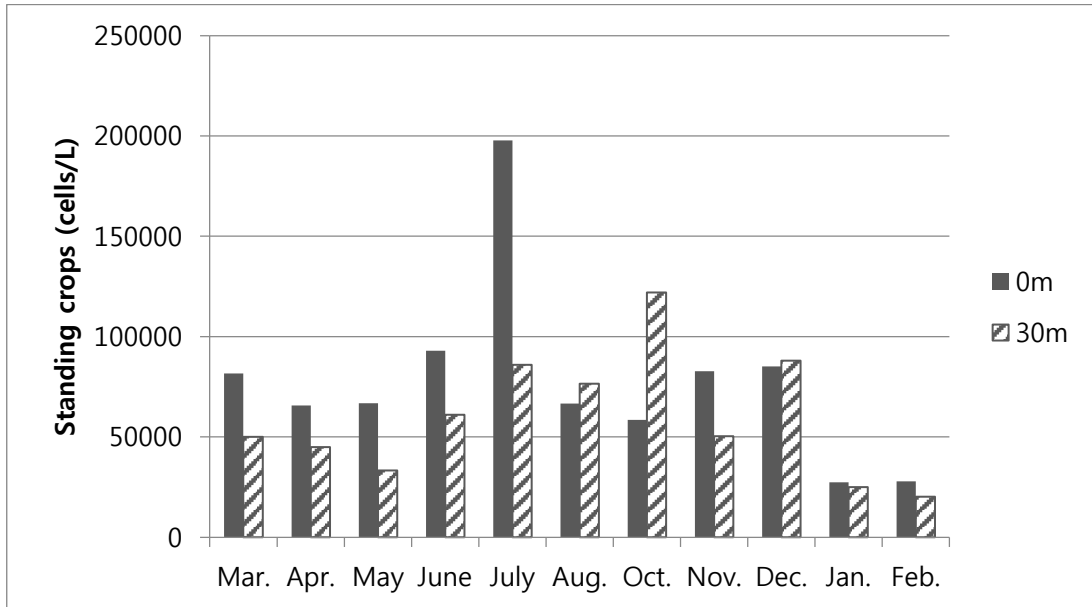


Fig. 16. Standing crops and occupancy rate (%) of the northern Jeju Island. (Jeju)

### 3.3.2 해역별 생태지수

제주연안 식물플랑크톤 군집의 해역별 생태지수를 보면 종다양성지수는 봄철인 3월 동부해역(St.10, 성산)에서 수심별로 각각 0m 2.66, 30m 2.76, 50m 2.66이었고, 서부해역(St.6, 차귀도)은 0m 3.12, 30m 3.10이었다. 남부해역(St.8, 서귀포)은 0m 2.93, 30m 2.78, 50m 2.76이었고, 북부해역(St.3, 제주)은 0m 3.32, 30m 2.94이었다. 여름철인 8월 동부해역은 0m 2.23, 30m 2.02, 50m 2.65였고, 서부해역에서 0m 2.89, 30m 2.95, 남부해역에서 0m 2.46, 30m 2.47, 50m 2.34를 나타냈다. 북부해역은 0m 3.29, 30m 2.63이었다. 가을철인 10월은 동부해역에서 0m 2.65, 30m 2.83, 50m 3.12였고, 서부해역은 0m 2.50, 30m 2.72를 남부해역은 0m 2.34, 30m 2.34, 50m 2.56을 나타냈고, 북부해역에서는 0m 2.65, 30m 2.62였다. 겨울철 12월은 동부해역에서 0m 2.69, 30m 2.79, 50m 2.73을 보였고, 서부해역은 0m 2.70, 30m 2.58을 남부해역은 0m 2.92, 30m 2.51, 50m 2.39로 각각 나타났으며, 북부해역에서 0m 2.63, 30m 2.70을 나타냈다.

종풍부도지수는 3월에 동부해역에서 0m 1.79, 30m 17.6, 50m 1.49였으며, 서부해역은 0m 2.37, 30m 2.29였고, 남부해역은 0m 1.90, 30m 1.68, 50m 1.73으로 북부해역에서는 0m 2.65, 30m 1.85로 각각 나타났다. 8월 동부해역은 0m 1.07, 30m 1.21, 50m 1.68이었고, 서부해역에서 0m 3.05, 30m 2.01로 높게 나타났다. 남부해역은 0m 1.72, 30m 1.57, 50m 0.96이었으며, 북부해역은 0m 3.78, 30m 2.67으로 나타났다. 10월에는 동부해역은 0m 1.68, 30m 2.03, 50m 2.32로 나타났고, 서부해역에서 0m 1.33, 30m 1.48이었고, 남부해역에서 0m 0.96, 30m 1.06, 50m 1.20으로 북부해역에서 0m 1.37, 30m 1.20이었다. 12월 동부해역은 0m 1.59, 30m 1.64, 50m 1.46이었고, 서부해역 0m 1.79, 30m 1.28, 남부해역 0m 2.31, 30m 1.73, 50m 1.37, 북부해역 0m 1.59, 30m 1.67으로 나타났다.

평균등도지수는 3월 동부해역에서는 0m 0.96, 30m 0.94, 50m 0.96으로, 서부해역 0m 0.95, 30m 0.96, 남부해역에서 0m 0.96, 30m 0.94, 50m 0.94, 북부해역 0m 0.97, 30m 0.97이었다. 8월은 동부해역 0m 0.84, 30m 0.74, 50m 0.89, 서부해역 0m 0.83, 30m 0.96 남부해역 0m 0.80, 30m 0.84, 50m 0.94, 북부해역 0m 0.87, 30m 0.77을 나타냈다. 가을인 10월은 동부해역에서 0m 0.89, 30m 0.90, 50m 0.95였고, 서부해역은 0m 0.90, 30m 0.96, 남부해역에서 0m 0.94, 30m 0.91, 50m 0.97, 북부해역은 0m 0.96, 30m 0.97이었다. 12월엔 동부해역 0m 0.91, 30m 0.95, 50m 0.97, 서부해역 0m 0.87, 30m 0.95, 남부해역 0m 0.89, 30m 0.84, 50m 0.86, 북부해역 0m 0.89, 30m 0.90으로 각각 나타냈다. (Table 7)

Table 7. Seasonal variations of ecological indices

Region	Month	Diversity Index			Richness Index			Evenness Index		
		0m	30m	50m	0m	30m	50m	0m	30m	50m
Eastern (Sung-san)	Mar	2.66	2.76	2.66	1.49	1.76	1.49	0.96	0.94	0.96
	Aug	2.23	2.02	2.65	1.07	1.21	1.68	0.84	0.74	0.89
	Oct	2.65	2.83	3.12	1.68	2.03	2.32	0.89	0.90	0.95
	Dec	2.69	2.79	2.73	1.59	1.64	1.46	0.91	0.95	0.97
Western (Chagwi-do)	Mar	3.12	3.10	-	2.37	2.29	-	0.95	0.96	-
	Aug	2.89	2.95	-	3.05	2.01	-	0.83	0.96	-
	Oct	2.50	2.72	-	1.33	1.48	-	0.90	0.96	-
	Dec	2.70	2.58	-	1.79	1.28	-	0.87	0.95	-
Southern (Segwi-po)	Mar	2.93	2.78	2.76	1.90	1.68	1.73	0.96	0.94	0.94
	Aug	2.46	2.47	2.34	1.72	1.57	0.96	0.80	0.84	0.94
	Oct	2.34	2.34	2.56	0.96	1.06	1.20	0.94	0.91	0.97
	Dec	2.92	2.51	2.39	2.31	1.73	1.37	0.89	0.84	0.86
Northern (Jeju)	Mar	3.32	2.94	-	2.65	1.85	-	0.97	0.97	-
	Aug	3.29	2.63	-	3.78	2.67	-	0.87	0.77	-
	Oct	2.65	2.62	-	1.37	1.20	-	0.96	0.97	-
	Dec	2.63	2.70	-	1.59	1.67	-	0.89	0.90	-

#### 4. 토 의

조사기간(2015년 3월~2016년 2월)동안 제주연안 수온의 범위는 12.5-27.5℃(평균 19.4℃)로 최 등 (1989)의 10.8-25.7℃(평균 17.3℃)에 비해서 2℃가량 높았으며, 8 월 최대값을 나타낸 것은 결과가 같았다. Affan et al. (2007)의 연구 결과인 14.2-28.9℃(평균 20.1℃)보다 범위가 좁아 최소치는 높고 최대치는 낮았다. 염분은 0m 층에서 31.99~34.63psu 를 나타내었고, 30m 층 33.07~34.67, 50m 층 33.70~34.80psu 의 범위를 나타냈다. 7월 표층에서 31.99psu 로 최소치를 3월 50m 층에서 34.80psu 로 최대치를 나타내었다. 이 결과는 최 등 (1989)의 결과인 최소치 8월 29.91psu 최대치 2월 34.27psu 였던 것과는 달리 전체적으로 높은 수치를 나타내었다. 용존산소량(D.O.)의 범위는 수심 0m 에서 5.08 ~6.73mg/L 를 나타냈고, 30m 층에서 5.72~8.09mg/L, 50m 층에서 5.25~8.07mg/L 를 나타냈다. 최소치는 7월 수심 0m 에서 5.08mg/L 였고, 최대치는 3월 30m 층에서 8.09mg/L 로 나타났다. 평균적으로는 6.59mg/L 로 과거 평균 7.17mg/L 최 등(1989)보다 낮은 수치를 나타냈다. 결과적으로 이번 연구에서의 환경의 변화는 최 등 (1989)의 연구보다 수온과 염분의 범위는 전체적으로 높아 졌지만 용존산소량은 오히려 줄어들었음을 알 수 있었다.



조사 기간 중 식물플랑크톤의 현존량은 5,281~639,934 cells/L 의 범위를 나타내었으며, 이는 이 등 (1990)의 1,834~1,190,044 cells/L 보다 좁은 범위로 최대값도 낮았다. 일반적으로 제주연안의 식물플랑크톤 군집의 계절적 현존량의 변화는 이 등 (1989)년 논문에서 춘계와 추계에  $10^5$ cells/L 이상의 대증식을 보였으나, 이번 연구에는 7 월과 8 월에 대증식이 일어났고, 11 월까지 조금씩 감소하다가 12 월에 다시 증가하였다가 1 월에 급감하는 패턴을 보였다. 본 연구기간 동안 춘계와 추계의 대증식 현상은 보이지 않았으나, 4 월과 12 월에 현존량이 높은 경향을 보였다

식물플랑크톤 군집의 해역별 현존량 연구를 비교하면 이와 좌 (1990)의 연구에서 서부해역인 한림항 해역에서 3,200~190,000cells/L 였으나 본 연구의 서부역 평균은 21,445~166,768 cells/L 로 최소치는 높았으나 최고치는 적게 나타났다. Affan et al. (2007)의 2004 년 9 월-2005 년 11 월까지 차귀도 연안에서 22,100-486,900cells/L (4 월 저층 최대)의 현존량을 보고하였고 본 연구에서는 18,417-181,941 cells/L (7 월 표층 최대) 로 낮은 범위를 나타냈다. 이때 표층수온은 Affan et al. (2007) 연구에서 14.2-28.9°C였고 (3 월최소, 8 월 최대) 본 연구에서는 13.6-25.1°C였다 (3 최소, 7 월최대). Affan et al. (2007)의 연구에서 봄철인 4 월과 가을철인 11 월에 대증식 현상이 일어났으며, 본 연구에서는 7 월달 최대 수치를 나타내었으나 표층에서는 4 월과 12 월에 현존량이 증가하였고 30m 층에서는 4 월에 현존량이 약간 높아지고 11 월에 급증

하여 최대치를 나타내는 패턴을 보였다. 이와 좌 (1990)의 연구에서 동부해역인 성산항은 6,400~1700,000 cells/L 였으며, 본 연구에서 동부해역 평균 현존량은 10,334~283,648 cells/L 로 전체적으로 본 연구의 현존량이 높았다. 윤 등(1990)의 연구에 의하면 북부해역인 함덕연안 해역에서 8,800~240,000 cells/L 였고, 본 연구에서 북부해역의 평균 현존량은 13,480cells/L ~182,081 cells/L 로 최소 수치는 높았고 최대 수치는 낮게 나타났다. 좌와 이(2000) 연구에서 남부해역인 서귀포 문섬 주변의 현존량은 1,500~700,000 cells/L 로 본 연구의 제주남부해역 평균현존량인 15,633 ~ 124,132 cells/L 보다 최대수치가 현저하게 낮았다.

서귀포 문섬 주변 연구 좌와 이(2000), 와 본 연구 정점인 St.8(서귀포 연안)을 비교한 결과 연평균 수온은 좌와 이(2000)의 연구에서는 평균 17.4℃(14.2~26.4℃) 였고, 본 연구에서는 평균 17.9℃(14.3~24.4℃)로 평균값은 크게 차이가 나지 않았으나 수온 최대값이 본 연구가 2℃가량 낮게 측정되었다. 평균염분량은 좌와 이(2000) 34.06psu, 본 연구기간 34.16psu 로 크게 차이가 나진 않았다. 식물 플랑크톤 의 평균 현존량은 좌와 이(2000)의 연구에서 1500~700,000 cells/L 였으나 본 연구 에서는 15,633~206,915 cells/L 를 나타내었다. 또한 좌와 이(2000)연구에서는 7월에 최소치를 5월에 최대치를 나타내었으나, 본 연구기간에서는 1월에 최소치를 8월에 최대치를 나타냈으며, 본 연구에서도 7월 수치가 20,183cells/L 로 1월 20,109cells/L 와 거의

차이가 없을 정도로 적은 수치를 보였다. 그러나, 최대치는 좌와 이(2000)의 연구에서는 5 월이었으나 본 연구기간에서는 8 월에 최대치를 나타내서 달랐다. 좌와 이(2000)의 연구에서는 봄철과 가을철에 대증식이 일어났으나, 본 연구기간에서는 여름철에 298,461cells/L 로 대증식이 일어난 후 10 월 51,928cells/L, 11 월 40,251cells/L까지 떨어졌다가 12 월 52,909cells/L로 증가하였다가 1 월부터 20,109 로 급감하였다가 조금씩 증가하는 현상을 보였다. 이번 연구에서 남부해역(St.8: 서귀포)에서의 우점종은 봄철 *Bacteriastrum minus*, 여름철 *Bacteriastrum furcatum*, *Chaetocros anastomosans*, 가을철 *Skeletonema tropicum*, 겨울철 *Thalassionema frauenfeldi* 가 있었고, 좌와 이 (2000)의 연구에서의 우점종은 *Paralia sulcata*, *Chaetoceros curvisetus*, *Cylindrotheca closterium*, *Dictyocha fibula* 등이 있었다. 종다양성지수는 본 연구에서는 2.02~3.32(평균 2.67)이었으며 좌와 이(2000) 연구에서는 0.45~2.78(평균 1.84)범위로 본 연구에서의 수치가 매우 높았다. 균등도지수는 본 연구에서 0.91 로 좌와 이 (2000)의 연구에서의 균등도지수의 평균인 0.81 보다 높았고, 우점도지수는 본 연구에서 평균0.34로 좌와 이 (2000)연구의 0.24 보다 높았다. 결과적으로 좌와 이(2000)연구와 본 연구와의 비교 결과 현존량 7 월에 최소치 5 월에 최대치로 본 연구의 1 월최소치와 8 월 최대치의 결과와는 달랐으나, 봄철 보다 가을철에 현존량이 높은 점은 비슷했다. 최고 우점종은 이번 연구에서는

*Bacteriastrum minus* 으로 부유성 규조류가 차지하였고, 좌와 이 (2000)연구에서는 *Paralia sulcata* 로 저서성 규조류가 차지했다. 생태지수는 좌와 이 (2000) 연구 보다 전반적으로 높았다.

종조성 및 점유율의 결과를 보면 와편모조류의 점유율이 이 등(1990)의 연구에 비해 두 배 가량 높아진 경향을 보였다. 이는 과거에 비해 와편모조류가 좋아하는 환경으로 변함에 따른 와편모조류의 점유율의 증가가 원인으로 보인다

해역별 현존량의 변화는 동부해역과 남부해역은 8 월에 최대치였고, 서부해역과 남부해역은 7 월에 최대치가 나타났다. 북부해역과 남부해역은 3 월부터 증가하다가 여름철인 7 월과 8 월에 급증하고 다시 감소하는 패턴을 보였고, 동부해역과 서부해역은 3 월부터 증가했다가 6 월에 감소하였다가 7 월과 8 월에 증가하며, 10 월과 12 월 현존량이 높은 현상을 보였다. 이러한 현상으로 제주 해역의 식물플랑크톤 군집의 구조를 설명해 보자면 제주 북부해역은 현존량이 점차 높아졌다가 여름에 급증했다가 다시 감소하는 특성을 보였으며 현존량 또한 타 해역에 비해서 적었다. 반면에, 나머지 해역은 10 월과 12 월의 현존량이 높았으며 북부해역보다 현존량 또한 비교적 높아지는 현상을 보였다. 이 현상은 제주북부해역은 직접적인 대마난류(TWC)나 제주난류(JWC)의 영향을 비교적 덜 받으며, 나머지 해역은 대마난류(TWC)나 제주난류(JWC)의 영향을 직접적으로 받고 있음을 추측할 수

있었다. 또한 서부해역과 남부해역의 경우 6 월에 현존량이 감소하는 경향을 보였는데 이는 저염수인 양쯔강 유출류(YDF)의 영향으로 생존 환경이 크게 변화한 것이 원인이라고 추측된다. 북부해역과 남부해역의 현존량의 차이에서 추가적으로 추측할 수 있는 패턴은 대마난류 (TWC)의 영향을 받는 수괴는 10 월과 12 월의 현존량이 높아지는 현상을 보였는데, 이는 대마난류(TWC)의 영향이 10 월과 12 월에도 지속적인 영향을 주어 현존량을 유지할 수 있음을 추측해볼 수 있었다. 이러한 다양한 패턴들의 확실한 요인은 본 연구에서는 밝혀내지는 못하였으나 해역에 따른 특수한 패턴의 발생을 알 수 있었기 때문에 추후 지속적인 연구를 통하여 정확한 원인을 분석할 필요성이 있음을 알 수 있었다.

집괴분석에 따른 계절적 그룹형성을 보면 봄철인 3 월에는 2-3 개의 그룹이 각각 따로 형성 되어 있었다. 이러한 그룹들이 여름철에는 5-6 개의 그룹을 형성하는데 2-4 개의 기본그룹에서 기본그룹들이 모여서 다시 하나의 집단을 이루는 형태로 그룹이 형성되었다. 가을철은 특별한 그룹이 형성되지 않았고, 겨울철에는 다시 봄철과 같이 2-4 개의 그룹이 각각 따로 형성되어 있는걸 볼 수 있었다. 이러한 것은 봄철에 각기 따로 모여있던 그룹들이 여름철 현존량이 늘어나면서 서로 결합하여 커다란 단위의 새로운 그룹을 형성하고 가을철에는 그룹들이 해산되고

다시 겨울철에는 각기 다른 그룹들을 형성하는 패턴을 볼 수 있었다. 이러한 패턴이 해마다 지속되는지의 여부는 추 후 지속적인 연구가 필요하다.

## 5. 결 론

제주연안 식물플랑크톤 군집의 현존량은 거의 대부분 정점에서 2월에 최소치를 7월 8월에 최대치를 나타내었다. 수온과 염분은 전체적인 수치가 과거보다 높아 졌지만 용존산소량은 오히려 줄어들었음을 알 수 있었다.

제주연안 식물플랑크톤의 해역별 현존량에 따라 추측해보면 제주북부해역은 현존량과 월별 변동패턴이 다른 해역과는 달라 제주연안수 (JWC)나 대마난류 (TWC)의 직접적인 영향을 덜 받으며, 나머지 해역들은 현존량의 월별 변동패턴이 비슷한 점으로 미루어 대마난류(TWC)와 제주연안수(JWC)의 영향을 직접적으로 받는 것으로 추측된다. 또한, 제주서부해역과 남부해역은 장마기간인 6월에 현존량이 감소하는 경향을 보였는데 이는 저염수인 양쯔강 유출류(YDF)의 영향으로 생존환경이 변화한 것이 원인으로 추측된다.

식물플랑크톤 군집의 계절별 집괴분석의 연구결과는 각 계절별로 서로 다른 형태로 나타나며 이번 연구에서는 특별한 규칙성을 알아낼 수는 없었다. 봄철 각각 모여있던 그룹들이 여름철 서로 결합하여 커다란 단위의 새로운 그룹을 형성하고 가을철에는 그룹들이 해산되고, 다시 겨울철에는 각기 다른 그룹들을 형성하는 패턴을 볼 수 있었으며, 이러한 패턴이 해마다 지속되는지의 여부는 추 후 지속적인 연구가 필요하다.

생태지수의 계절적 변화에 따르면 제주동부해역은 봄과 여름보다 가을과 겨울에 종이 다양하고, 봄에서 겨울로 갈수록 풍부해졌으며, 여름한철을 제외하면 비교적 골고루 분포되어 있었다. 서부해역은 봄과 여름보다는 가을과 겨울에 종이 다양하게 나왔으며, 풍부도면에선 여름철에 제일 낮았고 겨울철이 제일 풍부하게 나타났으며, 균등도는 여름이 아주 조금 낮고 나머지는 골고루 분포되어 있었다. 남부해역은 봄철에 종이 제일 다양하였고, 풍부도면에서 여름철이 제일 낮고 겨울철이 제일 높았고, 균등도는 여름철과 겨울철이 낮고 봄과 가을은 높은 수치를 나타냈다. 북부해역은 전체적으로 다양한 종이 풍부하게 분포되어 있으나, 여름철에는 균등도가 낮았다. 종조성의 결과를 보면 제주연안은 계절별 지역별 모두 규조류가 우세하였고, 여름철에는 50%이상 점유하였다. 또한 와편모조류의 점유율이 이 과거에 비해 두 배 가량 높아진 것을 알 수 있었는데, 이는 과거에 비해 와편모조류가 좋아하는 환경으로 변함에 따른 와편모조류의 점유율의 증가가 원인으로 보인다. 본 연구의 최고우점종은 *Bacteriastrum minus*로 부유성 규조류 였고, 과거 저서성 규조류가 최고로 우점하였던 것과는 달랐으며, 생태지수는 과거에 비해 전반적으로 높은 결과를 보였다.



## 6. 참고문헌

고유봉, 전득산, 1984. 제주도 삼양연안지역에서의 플랑크톤연구. 제주대 해양연보, 8: 19-30

국립해양조사원(URL: [www.khoa.go.kr](http://www.khoa.go.kr)), 2016년. 해수유동정보 해류편 해류모식도.

심재형, 1994. 한국 동식물 도감 제34권 식물편(해양식물플랑크톤). 국정교과서 주식회사, 473pp.

윤양호, 2015. 제주 바다목장 해역 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 변동 특성. 한국 산학기술 학회 논문지, 16(11): 7761-7772.

윤양호, 노홍길, 김영기, 1990. 제주도 북방, 함덕연안해역에 있어서 춘·하계 식물성 무각편모조류의 동태. 제주대 해양연보, 14: 1-8

윤양호, 노홍길, 김영기, 1991. 제주도 연안해역에 출현하고 있는 적조생물. 제주대 해양연보, 15: 1-14.

윤양호, 노홍길, 김영기, 1992. 제주북방, 함덕연안해역에 있어서 식물플랑크톤 군집의 계절변동 특성. 제주대 해양연보, 16: 27-42.

이준백, 김한순, 2015. 국가 생물종 목록집 『편모조류』. 국립생물자원관, 194pp.

이준백, 좌종헌, 1990. 제주도 한림항과 성산항 일대 식물플랑크톤의 군집동태. 제주대 해양연보, 14: 9-24

- 이준백, 최영찬, 고유봉. 1989. 제주도 해안선주변 식물플랑크톤의 기초생산. 한국지구과학회지, 10(1): 62-67.
- 이준백, 고유봉, 좌중헌. 1990. 제주도 해안선주변 식물플랑크톤 군집의 구조와 동태. 한국조류학회지, 5(2): 159-171.
- 이준백, 좌중헌, 김일수, 1991. 제주도 해안선주변 부착규조류의 종조성 및 분포. 제주대 해양연보, 15: 61-72.
- 이준백, 좌중헌, 고유봉, 최영찬. 1993. 제주도 동부연안역의 생물생태학적 기초연구 (II) 우도 주변 식물플랑크톤 군집동태와 일차생산력. 한국지구과학회지, 14(4): 458-466.
- 이준백, 고희범, 고유봉, 최영찬, 1995. 제주도 북부연안역의 생물생태학적 기초연구-함덕해역의 식물플랑크톤동태와 일차생산력. 제주대 해양연보, 19: 103-113.
- 전득산, 고유봉, 1983. 제주도 주변해역의 chlorophyll-a 함량 분포. 제주대 해양연보. 7: 23-27.
- 전득산, 변충규, 노섬, 1986. 진주조개 (*Pinctada fucata*)의 치패생산 및 양식에 관한 환경학적 연구 - 식물플랑크톤의 현존량과 환경특성. 제주대 해양연보, 10: 65-73.
- 정상철, 노홍길, 박길순, 전득산, 1983. 서귀포 연안해역의 기초생산에 영향을 미치는 해양환경. 한국수산학회지, 16: 305-315.
- 최영찬, 고유봉, 이준백. 1989. 제주도 해안선주변의 해수특성(1987년6월-1988년4월). 한국지구과학회지, 10(1): 54-61.
- Affan, A., J.B. Lee, J.T. Kim, Y.C. Choi, J.M. Kim and J.G. Myung, 2007. Seasonal dynamics of phytoplankton and environmental factors around the Chagwi-do off the West Coast of

- Jeju Island, Korea. *Ocean Science Journal*, 42(2): 117-127.
- Bray, R.J., J.T. Curtis, 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol Monogr*, 27: 325-349.
- Chung, C.S. and D.B. Yang, 1991. The primary productivity in the southern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 26(3): 242-254.
- Dodge, J.D., 1982. *Marine dinoflagellates of the British Isles*. London: Her Majesty's Stationery Office, 303pp.
- Guiry, M.D. and G.M. Guiry, 2016. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 27 December 2016.
- Hoppenrath M., S.A. Murray, N. Chomérat and T. Horiguchi, 2014. Marine benthic dinoflagellates - unravelling their worldwide biodiversity. *Kleine Senckenberg-Reihe Vol. 54*, 276pp.
- Lance, G.N., and W.T. Williams, 1967. A general theory of classificatory sorting strategies I. hierarchical systems. *The Computer Journal*, 9: 7-80.
- Margalef, R., 1958. Information theory in ecology. *Gen. Systematics*, 3: 36-71.
- McNaughton, S.J., 1968. Structure and function in California grasslands. *Ecology*, 49: 962-972.
- Pang, I.C, H.K, Rho, J.H. Lee and H.J. Lie, 1996. Water mass distribution and seasonal circulation northwest of Cheju Island in 1994. *J. Korean. Fish. Soc.*, 29(6): 862-875.
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections, *Journal of Theoretical Biology*, 13: 131-44.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1963. *The mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, 144pp.
- Shim, J.H. and Y.C. Park, 1984. Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the southwestern sea of Korea, in early summer. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19: 68-81.

- Shim, J.H. and Y.C. Park, 1986. Primary productivity measurement using carbon-14 and nitrogenous nutrient dynamics in the southern sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 21(1): 13-24.
- Shim, J.H., H.G. Yeo and J.G. Park, 1992, Primary production system in the southern waters of the East Sea, Korea I. Biomass and productivity. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 27: 91-100.
- Tomas, C.R. ed., 1993. *Marine Phytoplankton a guide to naked Hagellates and Coccolithophorids*. Academic Press, 263pp.
- Tomas, C.R. ed., 1996. *Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates*. Academic Press.
- Yamaji, I., 1984. *Illustrations of the marine plankton of Japan 3<sup>rd</sup> Edition*. (in Japanese)