

2005년 하계 완도 연안 냉수대 발생시 식물플랑크톤의 분포 특성

오현주 · 김승한 · 문성용*

국립수산과학원 남해수산연구소, *전남대학교 해양기술학부
(2008년 3월 18일 접수; 2008년 8월 4일 수정; 2008년 8월 4일 채택)

The Characteristics of Phytoplankton Community of Cold Water in the around Sea of Wando in Summer, 2005

Hyun-Ju Oh, Seung-Han Kim and Seong-Yong Moon*

South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea

*Division of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

(Manuscript received 18 March, 2008; revised 4 August, 2008; accepted 4 August, 2008)

Abstract

The data of temperature, chlorophyll *a*, phytoplankton and NOAA/AVHRR satellite data were analyzed about 7 stations around Wando Island area on August 30, 2005. The sea water temperature range was from 15.19°C to 24.97°C, and there was a cold water mass from the station 1 to 5 around the outside of Chungsando Island, the water temperature was lower at the bottom than surface. The salinity was 32.41~34.03, DO was 7.40~9.14 mg/L, but the concentration of chlorophyll *a* was 1ug/L higher at the bottom than surface. Total phytoplankton appeared from the whole stations were 47 genus, 80 species and diatoms were dominant. A lot of dinoflagellates *Ceratium furca* and diatoms *Thalassithrix* spp. mostly appeared in the cold water mass were turned up from the station 1 to 5. 4 groups of phytoplankton clusters were shown in the surface, and 3 groups of phytoplankton clusters were shown at the bottom according to the water temperature. On the ground of the result analyzed with NOAA/AVHRR satellite data, the SST around Wando Island was 22~25°C, it was formed by thermohaline front latitudinally

Key Words : Phytoplankton, Cold water, Chlorophyll *a*, NOAA, SST(surface seawater temperature)

1. 서 론

한국의 남서해역에 위치한 완도 연안역은 노화, 청산도 등의 섬으로 이루어진 다도해해상국립공원으로 수심 50 m 이내로 얕은 천해를 이루며, 한국남해연안수, 대마난류, 황해저층냉수, 중국대륙연안수

등의 영향을 받아 계절에 따라 복잡한 해황이 형성되는 곳이다^{1~3)}. 그리고, 여름철에 저온수가 출현하여 주변 외해역의 고온수와 사이에서 전선을 형성하여 해무가 빈번하게 발생하는 곳으로 진도연안에서 형성된 조석전선역의 세력이 강하게 형성되어 인접연안인 완도까지 영향을 미치게 된다^{3,4)}.

연안에서 냉수대가 출현하는 원인으로 1) 바람에 의한 혼합 및 용승(upwelling) 2) 조류에 의한 해저마찰 및 혼합 3) 기온강하(해수의 저열량차) 4) 담수유

입에 의한 이류(advection)에 의해서 발생한다고 한다⁵⁾. 하계 진도 앞바다에 출현하는 강한 냉수대는 제주해역을 포함한 우리나라 남서해역에 조석전선을 형성하여 해류의 성질, 지리적 특징, 다양한 기후 및 해양조건에 의하여 그 형성기작이 결정되는 것으로 알려져 있다⁶⁾. 진도, 완도 인접해역의 남서해역에는 연안저층의 저온수와 외해역의 표층 고온수의 사이에 수온전선이 형성되어 발생하게 되며⁷⁾, 전선역의 변화는 생물군집의 종조성과 분포에 영향을 끼칠 뿐만 아니라 어장형성에도 중요한 영향을 끼치게 된다^{1,8-10)}. 김 등¹¹⁾에 의하면, 2000년 8~9월에 20℃내외의 저수온 현상을 보였으며, NOAA 위성 자료에 의하면 우리나라 남서해역에 강한 전선이 형성된다고 하였다. 수산생물은 이러한 해양환경의 직·간접적인 영향을 받으며^{12,13)} 완도해역의 멸치 종조성 변동이 조석전선의 세력의 크기에 따라 영향을 받는다고 한다¹⁴⁾.

수산생물의 먹이로서 역할 외에도 생태계에서 기초 자료로서 중요한 역할을 하는 식물플랑크톤은 생태계 내의 물리·화학적 환경요인의 변동에 따라 종조성이나 출현량에 있어 뚜렷한 변동을 보이며¹⁵⁾, 조석전선이 해양의 물리학적 특성 및 생물, 화학적 특성에 영향을 끼쳐 생태계 내에서 상위단계의 먹

이그물에 영향을 끼치게 된다^{8,16)}.

지금까지의 연구는 남해역의 조석에 의한 냉수대 및 저수온 출현 기작을 중심으로한 물리학적 요인에 관한 연구¹³⁾와 수온과 어류 및 해조류의 관계, 고등수산생물 등의 연구가 이루어 졌으며^{11-12,14)}, 식물플랑크톤 군집생태와 유해성 적조의 발생¹⁷⁻¹⁹⁾, 수괴 특성에 따른 동물플랑크톤과 모악류의 군집생태²⁰⁻²³⁾, 대마난류 및 저층냉수와 동물플랑크톤에 관한 연구³⁾ 등이 수행되었다.

본 연구에서는 완도 연안역에 조석에 의해서 형성된 냉수대의 세기 및 범위를 파악하고, 해양물리학적 요인의 변동에 따라 달라지는 식물플랑크톤의 분포 특성을 파악하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2005년 8월 30일 완도에서 내측 2개, 외측 5개의 정점에서 조사를 실시하였다(Fig. 1). 해양환경요인으로 수온, 염분, 용존산소(DO)를 수질측정기(YSI 600)로 측정하였으며, 클로로필 *a*는 해양환경공정시험법²⁴⁾에 따라 정량 분석하였다. 식물플랑크톤의 시료는 표층과 저층에서 1 L를 채수하여 Lugol 용액 2 mL로 고정시킨 후 광산화를 방지하기 위하여 암

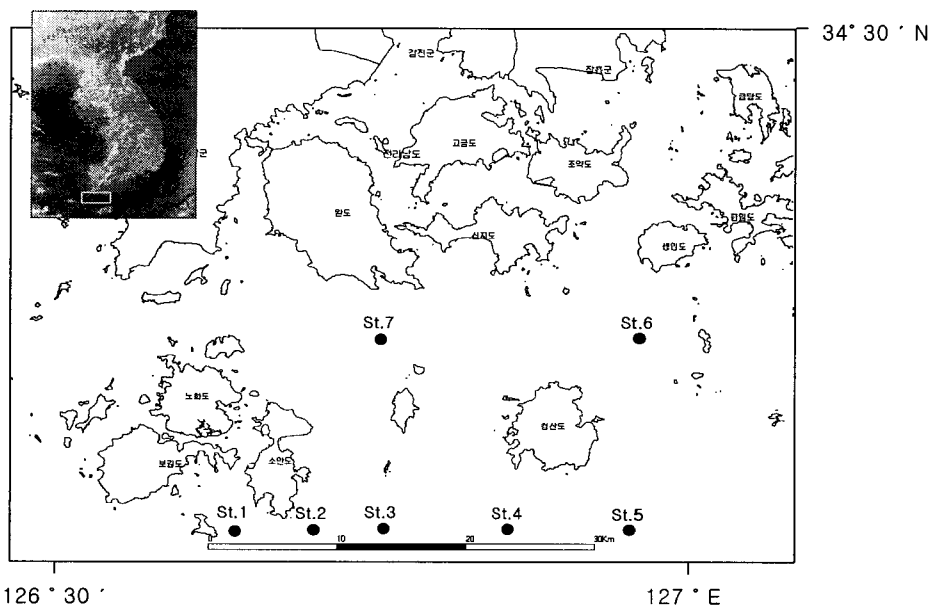


Fig. 1. Sampling station located in the Korean peninsula.

소에서 보관하였고, 상등액을 제거 후 10 mL로 농축하여 광학현미경으로 분석하여 출현된 식물플랑크톤의 현존량은 개체수(cells/mL)로 환산하였다. 또한 한국 연근해역 표면수온의 시·공간적 변동을 파악하고자 열감지 위성인 NOAA 위성에 탑재된 고해상도 감지기(AVHRR)의 적외선 band 자료를 분석하여 얻어진 영상을 이용하였다.

식물플랑크톤의 군집을 분석하기 위해서 Bray-Curtis의 유사도 지수를 토대로 NMDS(non-metric multidimensional scaling) 배열법으로 군집 분석을 수행하였다²⁵⁾.

3. 결과 및 고찰

3.1. 물리학적 요인의 변동

수온은 15.19~24.97℃ 범위로(Fig. 2), 표층의 경우 22.95~24.97℃로 수평적으로 수온분포차가 2℃ 내외였으나, 저층의 경우 15.19~22.77℃로 7℃ 내외의 수평분포 온도차 범위를 보였다. 그 중 청산도

외측의 정점 1~5에서 표층과 저층의 수온차가 6.1~8.4℃로 저층에서 냉수대가 출현하였으나, 정점 6~7에서는 0.8~2.5℃의 차이를 보였다. 이러한 결과는 완도연안역까지 황해냉수계역의 해수가 영향을 끼친다는 기존의 연구결과와 일치하였다²⁶⁾. 2005년 8월 28일과 29일 NOAA 위성에서 관측된 표면수온을 살펴보면(Fig. 3) 수온은 22~25℃의 분포로, 수온전선이 남북방향으로 형성되어 조석에 의하여 냉수대가 발생하는 연안역에서 나타나는 연구결과와 일치하였다⁸⁾. 특히 27일 진도 연안역에서 형성되었던 냉수대가 28일, 29일에는 강해져 완도연안역까지 영향을 끼쳐 기존의 연구결과⁴⁾와 유사하게 나타났다.

염분의 경우(Fig. 4) 32.41~34.03 범위로 정점 1의 저층에서 34.03로 가장 높았고, 정점 5의 표층에서 32.41로 가장 낮은 값을 나타내었다. 정점 1~4의 저층에서 염분농도가 1 높고 표층에서 낮은 값을 보인 반면 정점 6과 7은 표·저층에서 유사한 값을 보

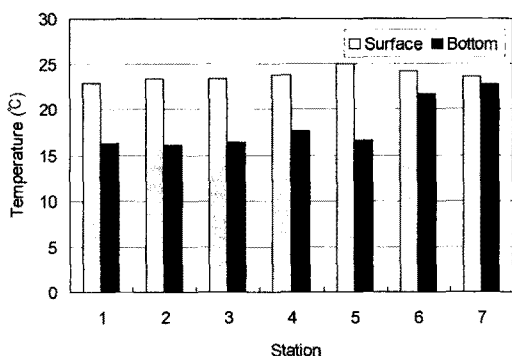


Fig. 2. Variations of temperature in the surface and bottom.

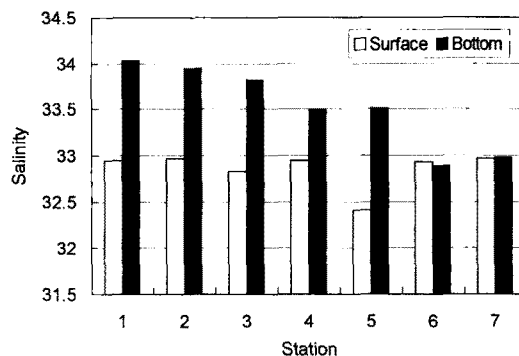


Fig. 4. Variations of salinity in the surface and bottom.

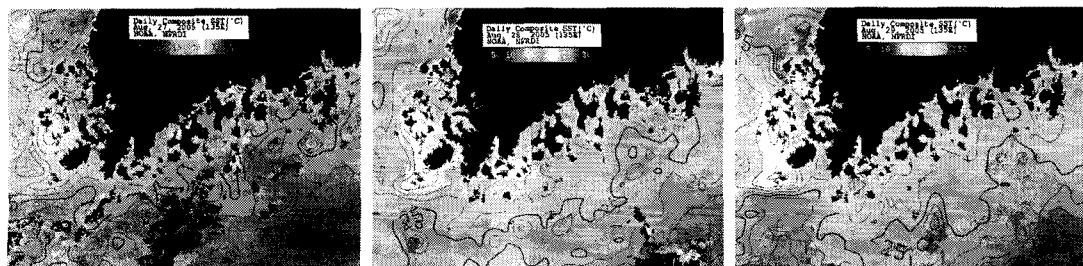


Fig. 3. Distributions of sea surface temperature derived from NOAA satellite in August 27~29, 2005.

였으나 수층간 변화는 크지 않았다. 정점 1~5의 30 m 이심층에서 15℃의 냉수대가 출현한 결과로 하계에 황해저층냉수와 쿠로시오난류의 지류인 대마난류의 확장^{3,27~28})에 의해서 연구해역이 영향을 받아 30 m 이심층에서 33.5 이상의 염분이 분포한 것으로 판단된다.

용존산소는(Fig. 5) 7.40~9.14 mg/L의 범위로 정점 4의 저층에서 9.14 mg/L로 가장 높은 값을 보였고 정점 7의 저층에서 7.40 mg/L로 가장 낮은 값을 보였다. 정점별로 살펴보면 정점 1~5에서는 표층보다 저층에서 1(±0.5) mg/L 내외로 높게 나타난 반면, 정점 6과 7에서는 반대의 결과를 보였다. 냉수발생시 포화되는 산소의 양이 많이 지는 연구결과³⁰)와 같이 본 연구에서도 냉수가 발달된 해역의 저층에서도 용존산소가 풍부한 것으로 판단된다.

3.2. 생물학적 요인의 변동

클로로필 a는(Fig. 6) 0.32~1.94 µg/L의 범위로 정점 1~6에서는 표층보다 저층에서 클로로필 a의 농도가 높게 나타났으며, 특히, 정점 5의 표층에서 0.32 µg/L로 가장 낮았고, 정점 7은 표층에서 1.94 µg/L로 가장 높은 농도를 보였다. 저층에서 15~16℃의 수온분포를 보인 정점 1~5에서는 클로로필 a의 농도분포가 표층보다 저층에서 0.09~0.93 µg/L 더 높은 농도 분포를 보였다. 수온차이에 따른 기초생산력의 변동을 살펴보기 위하여 수온과 클로로필 a와의 관계를 살펴본 결과, 수온이 낮아질수록 클로로필 a 농도가 높아지는 음(-)의 관계를 보였다(Fig. 7).

이러한 결과는 동해남부해역의 기장연안에서 냉수대 발생시 클로로필 a의 농도가 냉수대가 발생하

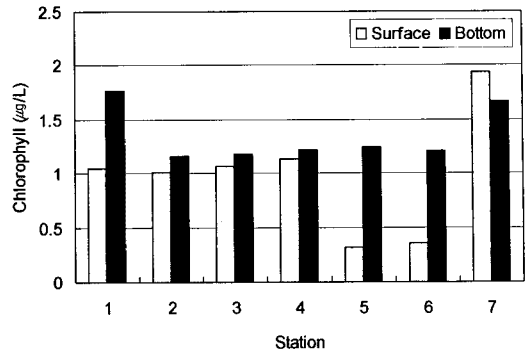


Fig. 6. Variations of chlorophyll a in the surface and bottom.

지 않은 외해역보다 높게 분포한다는 연구결과와 유사한 결과를 보였다¹⁵).

식물플랑크톤의 출현종은(Table 1) 47속 80종으로 정점 6의 저층에서 25속 41종으로 가장 많은 종수를 보였고 정점 7의 표층에서 14속 18종으로 가장 적었으며 규조류가 99.9%로 극우점하였다. 특히, *Skeletonema costatum*이 정점 4를 제외한 전 정점에서 20%내외로 우점하였으며, *S. costatum*을 제외한 식물플랑크톤의 출현 양상을 살펴보면, 수온에 따라 종의 출현이 다르게 나타났다. 영양염이 풍부한 저층의 용승작용에 의해 냉수대가 형성되어 냉수층이 우점할 수 있는 환경상태를 형성한다는 연구결과¹⁵)와 같이 표층과 달리 저층에서는 저수온에 주로 출현하는 *Ceratium furca*와 *Thalassiothrix* spp. 등이 다량 출현하였다(Fig. 8). 그러나, 정점 1~4에서는 표층, 정점 6~7에서는 저층에서 *Pseudonitzschia* spp.이 더 많은 양이 출현하여 저수온의 영향을 받는

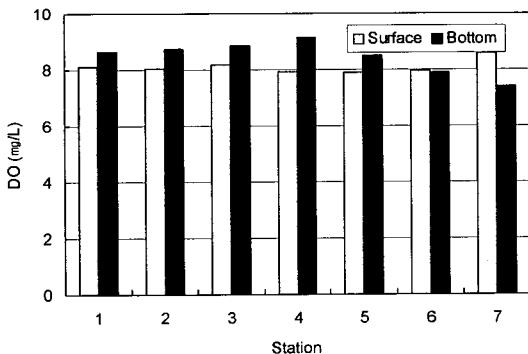


Fig. 5. Variations of DO in the surface and bottom.

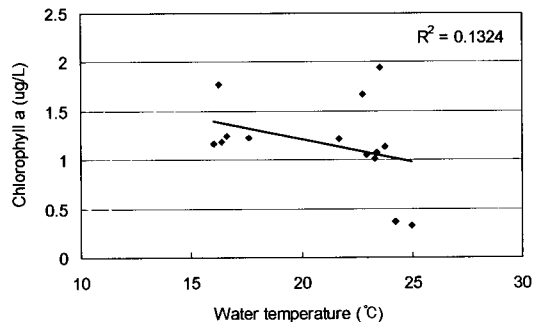


Fig. 7. Concentrations of chlorophyll a in the study area with respect to seawater temperatures.

Table 1. The numbers of species and the most dominant species of phytoplankton appeared in study area, 2005

Station		Numbers		Dominant species
		Genus	species	
1	Surface	18	28	<i>Pseudonitzschia</i> spp.
	Bottom	20	28	<i>Skeletonema costatum</i>
2	Surface	20	30	<i>Skeletonema costatum</i>
	Bottom	21	31	<i>Certium</i> spp.
3	Surface	19	26	<i>Pseudonitzschia</i> spp.
	Bottom	22	31	<i>Certium</i> spp.
4	Surface	06	28	<i>Pseudonitzschia</i> spp.
	Bottom	20	24	<i>Pseudonitzschia</i> spp.
5	Surface	13	21	<i>Thalassiothrix</i> spp.
	Bottom	21	32	<i>Pseudonitzschia</i> spp.
6	Surface	19	31	<i>Skeletonema costatum</i>
	Bottom	25	41	<i>Rhizosoleniab</i> spp.
7	Surface	14	18	<i>Skeletonema costatum</i>
	Bottom	14	20	<i>Skeletonema costatum</i>
Total		47	80	

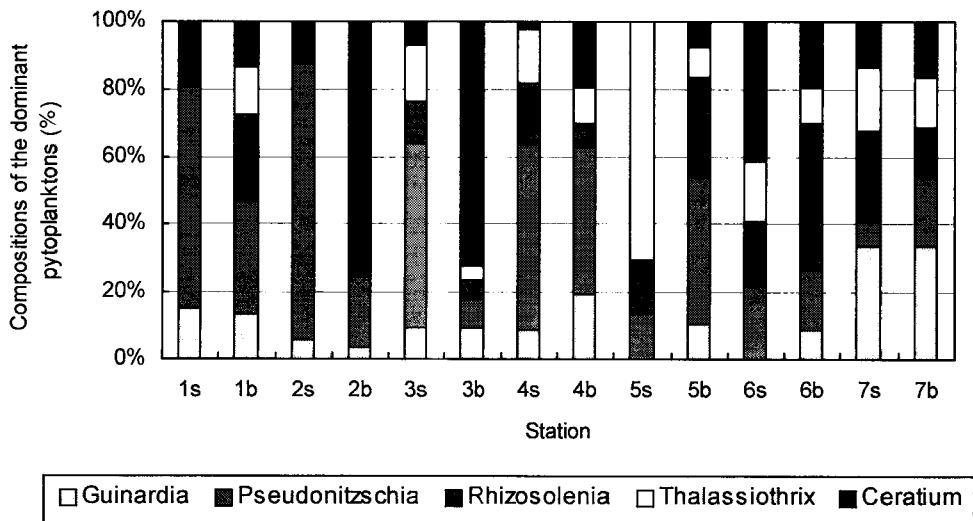


Fig. 8. Variations of major dominant phytoplankton in the study area.

청산도의 내측과 외해의 해양환경이 다르기 때문에 출현하는 식물플랑크톤 현존량이 차이를 보였다. 이러한 결과는 저수온이 해양의 1차 생산자인 식물플랑크톤의 분포와 성장에 영향을 끼친다는 Pingre 등¹⁶⁾의 연구결과와 일치하였으며, 동해남부해역의

기장연안에서 냉수대 발생시 주변보다 수온이 5°C 이상 낮음에도 불구하고 저층의 풍부한 영양분이 공급되어 냉수층 뿐만 아니라 출현하는 식물플랑크톤이 다양하고 양적으로 증가한다는 연구결과¹⁵⁾와도 유사하였다.

3.3. 식물플랑크톤의 군집구조

출현된 식물플랑크톤 개체수 자료로 Bray-Curtis 유사도 지수를 이용하여 NMDS 분석을 통한 식물플랑크톤의 군집분석을 수행하였다. 표층의 경우 (Fig. 9), 크게 4개 군집으로 구분되었다. A군집은 소안도~청산도의 정점 1~4로 *Pseudonitzschia* spp., *Thalassiothrix* spp., *Ceratium furca* 등이 속한 그룹이었으며, B군집은 청산도 외측의 정점 5로 *T. spp.*, *P. spp.* 등이 속하였다. C군집은 청산도~생일도 사이의 정점 6으로 *C. furca*, *Pseudonitzschia* spp. 등이 속

한 그룹이었으며, 청산도 북서쪽 내측의 정점 7이 D군집은 *Guinardia* spp., *Rhizosolenia* spp. 으로 구분되었다. 그러나 저층의 경우(Fig. 10), 3개 군집으로, A군집은 *Pseudonitzschia* spp., *Rhizosolenia* spp. 등이 속한 소안도~청산도의 정점 1~5였으며, B군집은 청산도~생일도 사이의 정점 6으로 *Rhizosolenia* spp. 등이 속하였다. 청산도 북서쪽 내측인 정점 7은 C군집으로 *Guinardia* spp. 등이 속한 그룹으로 구분되어 나타났다. 위의 결과는 냉수대의 발생 유무에 따라 수층 간 해수의 온도차가 나타나 식물플랑크톤의

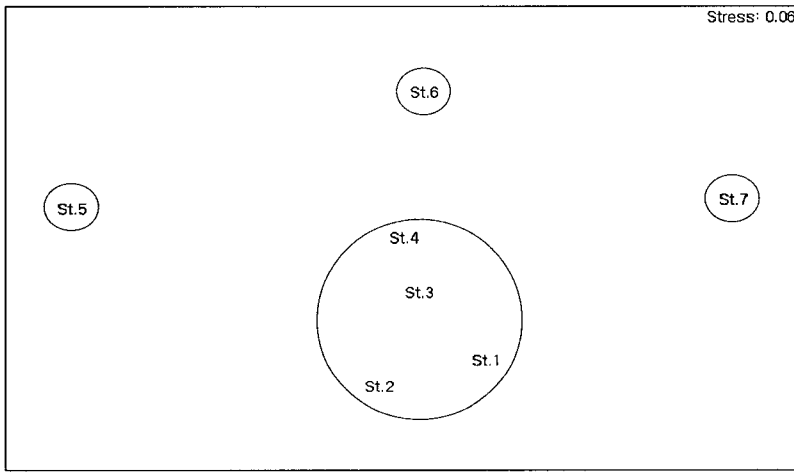


Fig. 9. Non-metric multidimensional scaling (NMDS) ordinations plot of sampling site based on abundance of phytoplankton in surface.

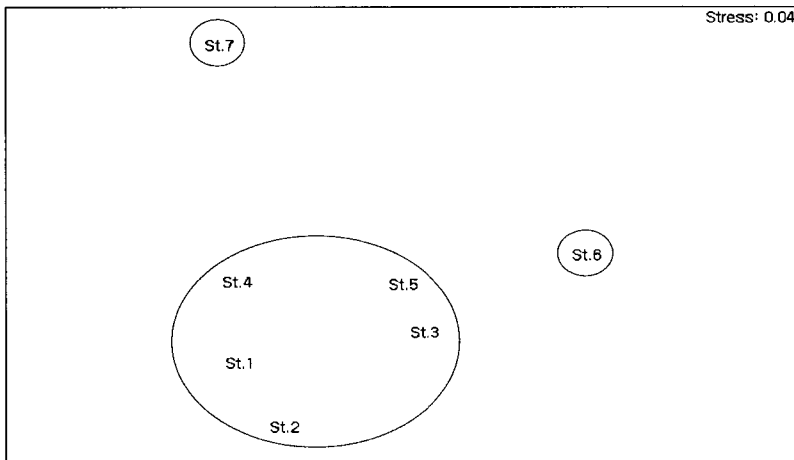


Fig. 10. Non-metric multidimensional scaling (NMDS) ordinations plot of sampling site based on abundance of phytoplankton in bottom.

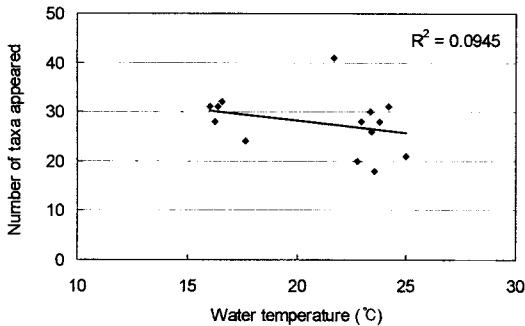


Fig. 11. Phytoplankton numbers of taxa appeared in the study area with respect to seawater temperatures.

종조성이 차이를 보이는 것으로, 식물플랑크톤 전체 출현 분류군수는 수온이 상승함에 따라 감소하는 음(-)의 경향을 보였다(Fig. 11). 이것은 연안역에서 용승작용에 의해 발생된 냉수대의 영향으로 수온이 하강하게 되나 저층의 영양분이 표층으로 공급되어 식물플랑크톤의 성장이 발달한다는 연구결과^{15,29)}와 일치하였다.

4. 결 론

2005년 8월 30일 완도해역 7개 정점에서 수온, 염분, 용존산소, 클로로필 *a*, 식물플랑크톤과, NOAA 위성 원격탐사자료를 분석하였다. 수온은 15.19~24.97°C 범위로, 표층은 22.95~24.97°C, 저층은 15.19~22.77°C의 범위를 보였으며, 청산도 외측의 정점 1~5에서 표층과 저층의 수온차가 7~8°C로 냉수대가 저층에서 출현하였다. NOAA 위성에서 관측된 표면수온은, 남북방향의 수온전선이 형성되었다. 염분의 경우 32.41~34.04 범위로 저층에 냉수가 출현했던 정점 1~5에서 염분농도가 33.5 이상으로 높았으며, 용존산소는 7.40~9.14 mg/L 범위로 대부분 저층에서 1 mg/L 내외로 높은 분포를 보였다. 클로로필 *a*의 농도 역시 표층보다 저층에서 높게 나타났다. 이러한 이유는 냉수대에 의한 수온 하강 시에는 영양염의 증가와 식물플랑크톤의 성장이 발달한다는 연구 결과와 일치하였다²⁹⁾. 식물플랑크톤은 47속 80종으로 규조류가 주로 우점하였고, 특히, *Skeletonema costatum*이 전 정점에서 다량 출현하여 윤¹⁸⁾의 연구결과와 유사한 분포경향을 보였다. 냉수대가 출현한 정점 1~5의 경우 표층보다 저층의 냉수대에서

출현된 종수가 많았으며, 저층냉수대에 주로 출현하는 *Ceratium furca*와 *Thalassiothrix* spp.이 다량 출현하였다. 출현된 식물플랑크톤의 군집구조는 Bray-Curtis 유사도 지수를 이용한 NMDS 분석결과 표층에서는 4개 군집, 저층에서는 3개 군집으로 구분되어 수온에 따라 수온에 따라 출현하는 식물플랑크톤의 특성상 출현된 식물플랑크톤 종이 달랐다.

결론적으로 완도주변해역에서 저층에 냉수가 발생시 출현한 식물플랑크톤 현존량이 더 높게 나타났으며 종조성이 변화하였다. 이는 냉수대의 출현 기작에 차이가 있지만, 용승에 의해서 냉수대가 출현한 동해남부해역인 기장주변에서 냉수대가 발달함에 따라 식물플랑크톤의 현존량이 증가하고 종조성이 변동한 연구결과처럼^{15,30)}, 냉수대의 발생으로 수온이 감소되어 음(-)의 영향을 미치는 것 보다 식물플랑크톤의 현존량과 종조성 변동이 저층의 풍부한 영양분으로 양(+)의 영향을 더 많이 받는 것으로 여겨진다. 그러나, 장기적인 시기별 냉수대 출현 및 세기에 따른 식물플랑크톤의 변동 양상이 파악되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 남해수산연구소에서 수행중인 남해해양환경연구(RP-2008-ME-033)에 의하여 수행되었습니다. 논문을 읽고 세세한 부분의 지적과 논문작성에 많은 도움을 주신 심사위원님들과 본원 해양연구과 서영상 박사님께 감사드리며, 남해수산연구소 환경연구과 연구원들께도 감사를 드립니다.

참고 문헌

- 1) Nakata H., 1996, Coastal fronts and eddies: Their implications for egg and larval transport and survival processes, In: Survival Strategies in Early Life Stages of Marine Resources, Balkema Pub., 227-244.
- 2) Lie H. J., Cho C. H., 2002, Recent advances in understanding the circulation and hydrography of the East China Sea, Fish. Oceanogr., 11, 318-328.
- 3) Moon S. Y., Jung C. S., Soh H. Y., Oh H. J., 2006, Distribution of zooplankton communities in the coastal area of Wando in summer, Korean J. Environ. Bio., 24(4), 329-336.
- 4) 정희동, 2001, 한국 남서연안 해역의 하계 저수온

- 출현의 기작과 해양 변동, 박사학위 논문, 해양학과, 부경대학교, 부산.
- 5) Fedorov K. N., 1983, Lecture note on coastal and estuary studies (the physical and nature and structure of oceanic front), Springer-verlag., 21-22.
 - 6) Seung Y. H., Shim S. I., 1996, A simple model of the formation of thermo-haline front in the south-eastern Yellow Sea in winter, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 31(1), 23-31.
 - 7) Mann K. H., Lazier J. R. N., 1991, Dynamics of marine ecosystems, Biological-Physical Interactions in the Oceans, Blackwell Scientific Publications, Inc., 466pp.
 - 8) Bowman M. J., Esaias W. E., 1977, Oceanic fronts in coastal precess, Springer-verlog., 114pp.
 - 9) Kiorboe T., Munk P., Richardson K., Christensen V., Paulsen H., 1988, Plankton dynamics and larvae herring growth, drift and survival in a frontal area, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 44, 205-219.
 - 10) Oh H. J., Lee Y. H., Yang J. H., Kim S. H., 2007, The characteristics of phytoplankton distributions related to the oceanographic conditions in the southern waters of the Korean in summer, 2004, *Korean Asso. Geogra. Infor. studies*, 10(3), 40-48.
 - 11) Kim J. K., Choi O. I., Chang D. S., Kim J. I., 2002, Fluctuation of Bag-net catches off Wando, Korea and the effect of sea water temperature, *J. Korean Fish. Soc.*, 35(5), 497-503.
 - 12) 최청일, 공용근, 김길주, 2000, 진도 독거도 주변해역의 해양환경 특성 및 서식 생물상으로서 미역 생태에 관하여, 국립수산진흥원 2000년 제1회 연구발표회 요약집, 22-23.
 - 13) 정희동, 권철휘, 조구대, 2000, 한국남서연안 하계 조석전선과 전선역의 변동, 국립수산진흥원 2000년 제2회 연구발표회 요약집, 23-24.
 - 14) Kim J. K., Kim Y. U., 2002, Morphological development of the four fish larvae and juveniles collected in coastal waters off Wando, Korea, *Korea J. Ichthyol.*, 14(4), 289-295.
 - 15) Oh H. J., Seo Y. S., Seo H., 2004, The relationship between phytoplankton distributions and environmental conditions of the upwelling cold water in the eastern coast of the Korean peninsula, *Korean Asso. Geogra. Info. studies*, 7(4), 166-173.
 - 16) Pingree R. D., Holligan P. M., Mardell G. T., 1978, The effects of vertical stability on phytoplankton distributions in the summer on the northwest European shelf. *Deep-sea Res.*, 25, 1011-1028.
 - 17) Shim J. H., 1984, Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the southwestern sea of Korea, in early summer, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 19(1), 68-81.
 - 18) 윤양호, 1998, 완도 신지연안해역의 식물플랑크톤 군집구조 특성, 여수대학교 논문집, 12, 651-664.
 - 19) Yoon Y. H., Park J. S., Soh H. Y., Hwang D. J., 2005, On the marine environment and distribution of phytoplankton community in the northern East China Sea in early summer 2005, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Eng.*, 8(2), 100-110.
 - 20) Park J. S., Lee S. S., Kang Y. S., Lee B. D., Huh S. H., 1990, The distributions of copepods and chaetognaths in the Southern Waters of Korea their relationship to the characteristics of water masses, *J. Korean Fish. Soc.*, 23, 245-253.
 - 21) Chung C. S., Yang D. B., 1991, On the primary productivity in the southern sea of Korea, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 26(3), 242-254.
 - 22) Kang Y. S., Jo Y. J., Go W. J., Kim S. S., Jeon K. A., Oh H. J., 2000, Swarm of Salps (Tunicata: Taliacea) and its impact on marine ecosystem in the south sea of Korea, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 5(1), 47-58.
 - 23) Park C., Seo J. W., 2000, Characteristics of zooplankton distribution and degree of its coupling with distribution of water masses in the northern East China Sea in summer and winter, *The Yellow Sea*, 6, 1-11.
 - 24) MOMAF, 2005, Standard methods of marine environment, 400pp.
 - 25) Clarke K. R., 1993, Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure, *Aust. J. Ecol.* 18, 117-143.
 - 26) Kim K., Rho H. K., Lee S. H., 1991, Water masses and circulation around Cheju-Do in summer, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 26(3), 262-277.
 - 27) Hu D., Cui M., Li Y., Qu T., 1991, On the Yellow Sea cold water mass-related circulation, *Yellow Sea Res.*, 4, 17-36.
 - 28) Yoon Y. H., Choi I. H., Seo H. Y., Hwang D. J., 2004, Spatial distributions of thermohaline structure and phytoplankton biomass in the East China Sea during early summer, *Bull. Fish. Sci. Institution Yeosu National Univ.*, 11, 36-42.
 - 29) Huntsman S. A., Barber R. T., 1977, Primary production off northwest Africa: the relationship to wind and nutrient conditions. *Deep-Sea Res.*, 24, 25-33.
 - 30) Lee W. J., Cho K. D., Choo H. S., 1984. Chemical characteristic of water types in the Korea strait, *Bull. Korean Fish. Soc.*, 17(3), 219-229.