Journal of Environmental Science International
22(12); 1683~1690; December 2013

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
http://dx.doi.org/10.5322/JESI.2013.22.12.1683

ORIGINAL ARTICLE

영일만 수질환경과 식물플랑크톤의 시·공간적 분포

심정민* · 권기영 · 정희동 · 최용규 · 김상우
국립수산과학원 동해수산연구소

Spatial and Temporal Variability of Phytoplankton in Relation to Environmental Factors in Youngil Bay

Jeong-Min Shim*, Ki-Young Kwon, Hee-Dong Jeong, Yong-Kyu Choi, Sang-Woo Kim
East Sea Fisheries Research and Development Institute, NFRDI, Gangneung 210-861, Korea

Abstract

We investigated the spatial and temporal variations of phytoplankton in Youngil Bay as well as the effect of water physico-chemical parameters. Water samples at three stations were collected and measured monthly from May to November in 2010. The taxa of phytoplankton observed in this study were classified as 33 Bacillariophyceae, 23 Dinophyceae, 1 Euglenophyceae, 2 Crysophyceae and 1 Cryptophyceae. The highest biomass of phytoplankton was observed at inner station in September, which was characterized high concentration of dissolved inorganic phosphate(DIP) in surface water after rainfall. Nutrient concentrations, chlorophyll-a and phytoplankton biomass values showed the marked trend to decrease from the inner bay to the outer bay. Pearson's correlation co-efficient between salinity and other water parameters including chlorophyll-a, pH and DIP showed the strong negative relationship r=-0.82, r=-0.78 and r=-0.75 ($p<0.01$), respectively. These results indicate that the water quality of Youngil Bay could be stimulated by nutrient enriched input from Hyeogsan River discharge, and the spatial and temporal distribution of phytoplankton biomass principally limited to DIP concentration from Hyeogsan river.

Key words : Phytoplankton, Chlorophyll-a, Nutrients, Pearson's correlation co-efficient

1. 서 론

영일만은 길이 약 13 ㎞, 폭 약 10 ㎞, 수면적 약 115 ㎢, 평균 수심 25 m의 동해안 유일한 만이다. 영일만은 해안 매립을 통해 만의 남동쪽과 북쪽에 동해안의 물류기지가 개발되면서 해안 지형의 변화는 물론 공업화에 따른 환경오염이 가속화되었을 뿐만 아니라, 최근 영일신항 개발과 같은 대규모 간척 사업으로 장기적인 해양환경 변화는 불가피한 실정이다.

영일만은 지형적인 특성으로 인해 외측의 상부 수층에서는 대한해협에서 유입되는 동한 난류수와 동해 연안을 따라 남하하는 북한한류수가 출현하나 중・저층에서는 동해고유냉수가 존재하는 것으로 알려져 있다(Lie 등, 1989). 영일만의 해류는 달만갑 쪽에서 유입된 후 만의 내측과 남부 연안을 거쳐서 호미곶으로 유출되는 특성을 보이며(Lee 등, 1995), 이로 인해 만

Received 3 July, 2013; **Revised** 5 December, 2013;
Accepted 13 December, 2013
***Corresponding author** : Jeong Min Shim, East Sea Fisheries Research and Development Institute, NFRDI, Gangneung 210-861, Korea
Phone: +82-33-660-8532
E-mail: jmshim67@korea.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
ⓒ This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

내의 오염물질이 희석되거나 외해로 유출되어 만내 수질 유지에 기여하고 있다. 또한 영일만 내측의 연안수와 동해고유수의 상호작용으로 영일만은 이상 저수온 현상이 나타나는 등 특이한 해황이 발생하기도 한다(Choi, 1993). 형산강을 통한 각종 생활하수 유입에 의한 해양환경 변화로 저서동물의 종조성과 현존량 변화 등 해양생태계 전반에 걸친 변화도 뚜렷하다(Lee, 1999). 또한 형산강을 통해 유입되는 담수 유입의 영향으로 영일만의 내측은 연안 수질의 특성을 보이기도 하며(Kim, 1992), 담수 유입은 식물플랑크톤의 시공간적인 분포에도 영향을 미친다(Hong, 2009; Jo 등, 2000; Shim과 Bae, 1985). 영일만에 관한 다양한 연구가 수행되었음에도 불구하고 영일만 수질의 변동(Kang 등, 2002; Lee 등 2003), 형산강으로부터 유입되는 담수와 수질과의 상관관계(Kim과 Kim, 2004) 등 영일만에 대한 연구가 수질이나 해류 등에 국한되어 있어 해양생태계를 해석하기에는 보다 종합적인 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 영일만에서 해양환경 변화의 생물학적 지표인 식물플랑크톤과 물리 · 화학적인 환경과의 변동 양상을 파악하고, 형산강 유출수가 영일만 수질 및 생물생산에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

2. 재료 및 방법

조사해역은 형산강 유입의 영향을 받는 영일만 내측, 중앙부, 외측 3개 정점을 대상으로 2010년 5월부터 11월까지 월 1회 조사를 실시하였다(Fig. 1). 현장조사는 국립수산과학원 동해수산연구소 시험조사선 탐구 12호를 이용하였다. 수온과 염분은 CTD(Seabird 19 plus, USA)를 이용하여 측정하였으며 시료 채취는 니스킨채수기를 이용하여 표층과 저층에서 이루어졌다. pH는 선상에서 pH 측정기(Orion 5-STAR, Singapore)를 이용하여 측정 하였으며, 투명도는 투명도판을 이용하여 측정하였다. 용존산소는 선상에서 해수를 용존산소 병에 고정한 후 Winkler 법으로 분석하였다(MLTMA, 2010). 영양염(용존무기질소(암모니아질소, 아질산질소, 질산질소의 합), 용존무기인, 규산규소)은 현장에서 여과지(Whatman GF/F)로 여과 후, 여과된 시료를 분석 시까지 냉동 보관하였으며, 영양염자동분석기(Seal Analytical QuAAtro, Germany)를 이용하여 분석하였다. 클로로필-*a* 농도 분석은 층별 해수 500 mL를 공경 0.45 ㎛ 멤브레인 여과지(Whattman 47 ㎜)로 여과 후 여과지를 10 mL의 90% 아세톤 용액에 넣어 냉암소에서 24시간 색소를 추출한 후 그 상등액을 형광분광광도계(Turner Designs 10AU, USA)로 분석하였다. 식물플랑크톤의 종조성과 정량분석은 Niskin 채수기를 이용하여 해수 1 L를 채취 후, Lugol's solution을 1～2% 첨가하여 고정시킨 후 실험실내에서 1～2일간 정치 후 20 mL로 농축하여 검경하였으며, 밀도는 cells/mL로 표시하였다. 종의 동정은 광학현미경(Zeiss Axiolab, Germany)을 사용하였으며, Thomas(1977)을 참고하였다. 식물플랑크톤 주요 우점종과 수질환경 인자간의 상관성을 알아보기 위해 SPSS 패키지(version 12.0, SPSS Institute)를 이용하여 피어슨 상관계수(Pearson's correlation coefficient)를 구하였다. 영일만으로 유입되는 형산강의 유량은 국가수자원관리종합정보시스템(http://www.wamis.go.kr)의 포항 관측소의 실시간 일 유량 자료를 활용하였다.

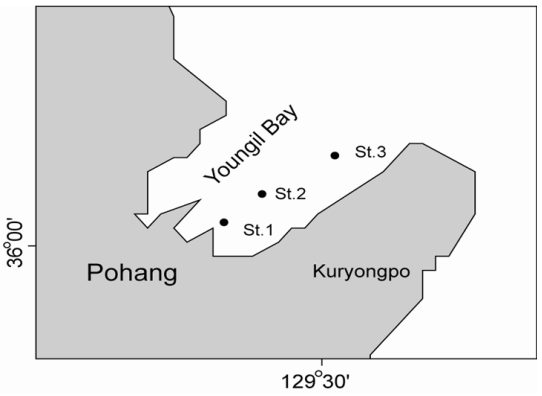

Fig. 1. Map showing the sampling stations in study area.

3. 결과 및 토의

3.1. 수질환경 특성

영일만의 표층 수온, 염분, 영양염 등의 물리 · 화학적 인자의 변동 범위와 평균값을 Table 1에 나타내었다. 조사기간 중의 표층 수온(Water Temperature)은 13.30～24.70℃(평균 19.99±3.60℃)로서 5월에 가

Table 1. Water parameter in Youngil Bay from May to Nov. 2010

Parameter	Range	Mean±SD
Temperature(℃)	13.30～24.70	19.99±3.60
Salinity	27.41～34.09	32.01±1.75
pH	8.18～8.71	8.34±0.14
DO(㎎/L)	6.09～11.55	9.10±1.53
DIN(μM)	1.07～12.50	4.30±2.44
DIP(μM)	0.00～0.19	0.04±0.06
SiO_2-Si(μM)	0.04～16.00	3.39±4.20
Chlorophyll-a(㎍/L)	0.74～23.60	5.41±5.18
Secchi-disk depth(m)	2.0～10.0	4.9±1.8

장 낮고 8월에 가장 높았으며 정점 간 차이는 크지 않았다. 염분(Salinity)은 27.41～34.09(평균 32.01±1.75)로서 9월에 가장 낮았고 7월에 가장 높았다. 특히 9월에 만 내측 정점 1점에서 27.41로서 다소 낮은 염분을 나타내었으며 이는 강우로 인한 형산강 담수 유입의 영향으로 보인다. pH와 용존산소(Dissolved Oxygen)는 각각 8.18～8.71(평균 8.34±0.14), 6.09～11.55 ㎎/L(평균 9.10±1.53 ㎎/L)로서 각 항목 모두 9월에 가장 높았다. 투명도(*Secchi*-disk depth)는 2.0～10.0 m(평균 4.9±1.8 m)로서 9월 영일만 내측에서 가장 낮았으며 이때 염분은 연중 최저치를 보였다. 용존무기질소(Dissolved Inorganic Nitrogen)는 1.07～12.50 μM(평균 4.30±2.44 μM)로서 11월에 가장 높았고 10월에 가장 낮았으며 월별 평균 농도는 큰 차이를 보이지 않았다. 용존무기인(Dissolved Inorganic Phosphate)은 0～0.19 μM(평균 0.04±0.06 μM)로 5～7월은 거의 검출되지 않았으며 8월과 9월에 비교적 높은 농도를 보였다. 규산규소(SiO_2-Si)는 0.04～17.23 μM(평균 6.79±4.52 μM)의 분포로서 7월에 가장 낮았고 8월과 9월에 상대적으로 높은 농도 값을 보였다. 용존무기질소의 농도는 월별 큰 차이 없이 일정한 농도 이상을 유지하고 있는 반면 용존무기인의 농도는 월별 농도 변화 폭이 상당히 컸다. 용존무기질소와 용존무기인의 정점별 평균 농도는 표층은 내측 정점에서 높고 외측 정점으로 갈수록 낮아진 반면 저층은 내측에서 외측으로 갈수록 높아지는 경향을 보였다(Fig. 2). 영일만 표층 영양염 농도의 공간적인 분포는 내측에서 외측으로 갈수록 농도가 감소하는 경향을 보여 기수역 영양염의 분포와 유사하였다(Cecilia 등, 2008; Kocum 등, 2002).

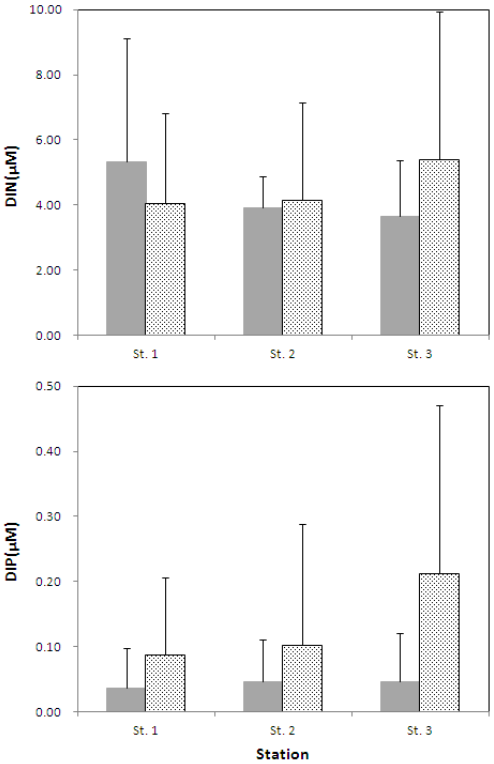

Fig. 2. Spatial variations(average of 7 months) of DIN and DIP in Youngil Bay from May to Nov. in 2010.

3.2. 식물플랑크톤의 분포 특성

조사기간 중 영일만에 출현한 식물플랑크톤은 총 60종으로 크게 규조강(Bacillariophyceae), 와편모조강(Dinophyceae), 유글레나조강(Euglenophyceae), 황색편모조강(Crysophyceae) 및 은편모조강(Cryptophyceae), 5개 분류군으로 나뉘었다(Fig. 3). 종조성이나 풍도에서 가장 비중이 높은 분류군은 규조강으로서 전체 분류 군 중 55%의 비율로 33종 출현하였으며, 다음으로 와편모조강 23종, 유글레나조강 1종, 황색편모조강 2종, 은편모조강 1종이 출현하였다. 규조강 중에는 *Chaetoceros*속이 가장 많은 종이 출현하였으며 와편모조강에는 *Prorocentrum*과 *Ceratium*이 출현빈도가 높았다. 월별 출현 종은 9월이 7종으로 가장 적었고 11월이 30종으로 가장 많았다(Fig. 4). 수온이 상승하

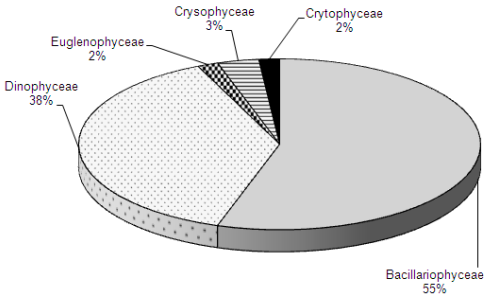

Fig. 3. Species composition of phytoplankton in Youngil Bay from May to Nov. in 2010.

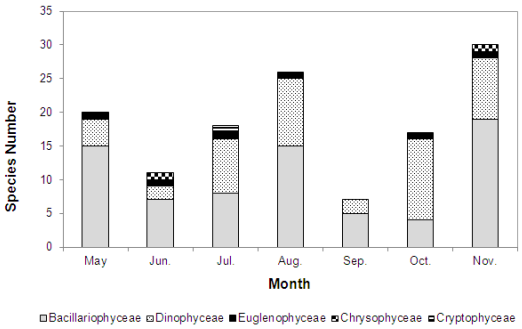

Fig. 4. Temporal variation of species composition of phytoplankton in Youngil Bay from May to Nov. in 2010.

는 7월부터 와편모조류의 종수가 증가하는 경향을 보였으며 특히 10월에는 규조류보다 편모조류의 종수가 더 많았다. 영일만 해역에 출현한 식물플랑크톤은 Hong (2009)은 168종, Jo 등(2000)은 200종, Choi(1993)는 97종이 출현한 것으로 보고하고 있으며, 본 연구에서와 출현종수에 있어서는 다소 차이를 보였다. 본 연구기간 중의 출현 종의 다양성이 낮은 것은 종다양성이 높아지는 춘계에 식물플랑크톤의 성장에 필수요소인 용존무기인의 농도가 상대적으로 낮은 것에 기인한 것으로 보인다.

영일만에 출현한 식물플랑크톤의 밀도별 순위는 9월에 극우점하면서 높은 출현밀도를 나타낸 *Chaetoceros affine*가 점유율 47.54%를 나타내며 가장 높은 순위를 보였고, 10월 우점한 *Prorocentrum dentatum*이 17.12%의 점유율을 보였다(Fig. 5). 다음으로 *Chaetoceros pseudocurvisetus* (11.76%), *Chaetoceros* sp.(8.42%), *Chaetoceros lorenzianus*(4.11%) 순으로 이들 5종이 전체 출현개체수의 총 84.84%의 비중을 보였다. 영일만에서 전체 출현개체수 중 규조류의 출현 비율은 Shim과 Bae(1985)는 90%, Hong(2009)은 59~67%를 차지한다고 보고하였으며 본 연구에서는 10월에 편모조류의 우점종에 의해 규조류의 점유율이 다소 낮은 78.27%의 출현 비율을 보였다.

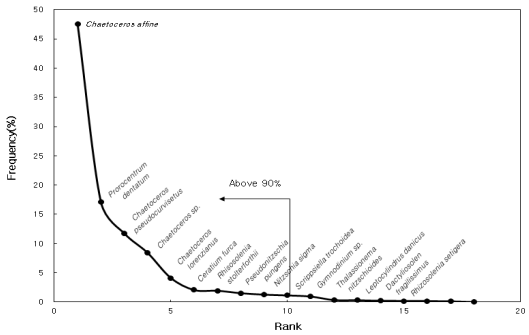

Fig. 5. Rank frequency of phytoplankton in Youngil Bay from May to Nov. 2010.

영일만에 출현한 주요 우점종은 5월 *Chaetoceros pseudocurvisetus,* 6월 *Dactyliosolen fragilissimus,* 7월 *Leptocylindrus danicus,* 8월 *Rhizosolenia stolterfothii,* 9월 *Chaetoceros affine*로서 5~9월까지는 규조류가 우점하였다. 10월에는 와편모조류 *Prorocentrum dentatum*이 우점하였고, 11월에는 *Chaetoceros pseudocurvisetus*가 우점 출현하였다(Table 2). Hong(2009)에 따르면 영일만에 출현하는 주요 우점종을 *Leptocylindrus danicus*, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros curvisetus*라고 보고하였으며, 본 연구에서 이들 종의 출현율은 그다지 높지 않은 것으로 나타났다. 10월에 와편모조류인 *Prorocentrum*과 *Ceratium*이 500 cells/mL 이상의 현존량을 보였으며, 이는 동해안에 출현하는 와편모조류 중 *Protoperidinium*, *Ceratium* 및 *Prorocentrum*속의 종수가 전체 와편모조류의 54.8%를 차지하며 한다는 Shim 등(1995)의 연구 결과와 비교하여 출현종에 있어서는 같은 양상을 보였다.

식물플랑크톤의 현존량은 10~3240 cells/mL(평균 566 cells/mL)의 분포로서 5~7월에는 100 cells/mL 이하의 낮은 현존량 분포를 보였으나 수온이 상승하

Table 2. Monthly variations of dominant species of phytoplankton in Youngil Bay from May to Nov. in 2010

Month	Dominant species
May	*Chaetoceros pseudocurvisetus*, *Thalassionema nitzschioides*
Jun.	*Dactyliosolen fragilissimus*, *Pseudonitzschia pungens*
Jul.	*Prorocentrum dentatum*, *Leptocylindrus danicus*
Aug.	*Dactyliosolen fragilissimus*, *Chaetoceros affine*, *Nitzschia sigma*
Sep.	*Chaetoceros affine*, *Chaetoceros* sp., *Chaetoceros lorenzianus*, *Ceratium furca*
Oct.	*Prorocentrum dentatum*, *Scrippsiella trochoidea*
Nov.	*Chaetoceros pseudocurvisetus*, *Pseudonitzschia pungens*

는 8월부터 현존량이 증가하기 시작하여 9월에는 1,260~3,240 cells/mL의 분포로 특히 만 내측에서 연중 가장 높은 현존량 분포를 보였다(Fig. 6). Hong(2009), Shim과 Bae(1985)에 따르면 영일만의 식물플랑크톤 현존량은 하계 가장 높고 추계에 가장 낮았다고 알려져 있으나 본 연구에서는 춘계에 가장 낮은 경향을 보여 다소 다른 결과를 보였다. 이는 식물플랑크톤의 성장에 직접적으로 영향을 미치는 인의 농도가 5월과 6월에 매우 낮았기 때문인 것으로 판단된다.

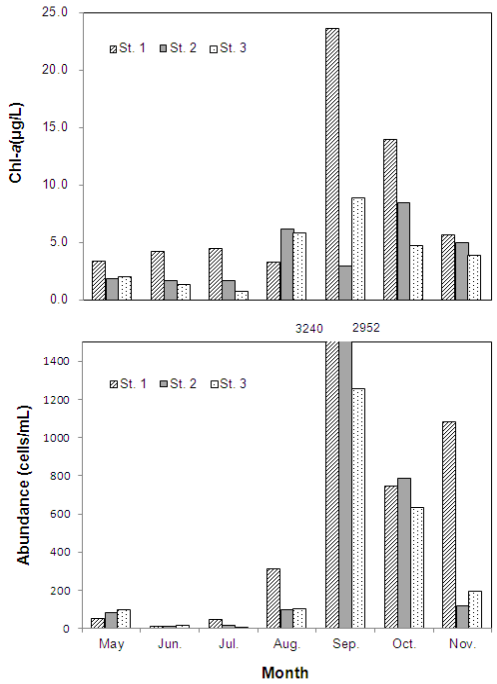

Fig. 6. Variations of Chl-*a* and phytoplankton abundance in Youngil Bay from May to Nov. in 2010.

클로로필-*a*는 0.74~23.60 μg/L(평균 5.40±5.18 μg/L)의 분포로서 7월 만 외측 정점 3에서 가장 낮고 9월 만 내측 정점 1에서 가장 높았다. 정점별로는 만 내측의 정점 1에서 3.34~23.60 μg/L(평균 8.35 μg/L), 중앙 정점 2에서 1.64~8.44 μg/L(평균 3.95 μg/L) 및 외측 정점 3에서 0.74~8.88 μg/L(3.92 μg/L)로 만 내측의 평균 농도가 두 배 이상 높게 나타났다. 영일만 클로로필-*a* 농도는 1983~1984년에 0.3~3.1 μg/L(Shim과 Bae, 1985), 1998~1999년에 0.4~4.6 μg/L(Jo 등, 2000), 2004~2007년에 0.5~7.8 μg/L(Hong, 2009)의 분포를 보였다. 클로로필-*a*의 최고 농도는 1980년대보다는 8배, 2000년대 보다는 3배 정도 높아진 것으로 나타났다. 호수의 부영영화 기준을 파악하는 클로로필-*a*의 기준 농도는 7 μg/L로(Forsberg와 Ryding, 1980). 연도별 영일만의 클로로필-*a*의 농도로 보았을 때 영일만이 점차 부영양화 되고 있다는 것을 보여주고 있다.

클로로필-*a*와 식물플랑크톤 현존량의 정점별 분포는 상당히 비슷한 양상을 보였다. 정점별 식물플랑크톤 평균 현존량은 영일만 내측 정점에서 785 cells/mL, 중앙 정점 581 cells/mL, 외측 정점 332 cells/mL으로 외측으로 갈수록 낮아지는 것으로 나타났고, 클로로필-*a* 또한 만 내측에서 외측에 비해 두 배 높은 농도를 보였다. 월별 클로로필-*a*와 식물플랑크톤 현존량 분포는 용존무기인의 농도 분포와 같은 경향을 보였다. 영일만 식물플랑크톤 현존량은 영양염을 공급하는 형산강 유입에 큰 영향을 받으며(Shim과 Bae, 1985), 이는 영일만 식물플랑크톤 군집 분포가 형산강 유출수의 영향에 따른 영양염 증가와 관련이 있는 것으로 보인다. 남해안의 여자만에서도 육수의 유입에 따른 영양염

공급이 식물플랑크톤 증식에 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Yoon과 Kim, 1996).

3.3. 식물플랑크톤과 수질환경과의 상관관계

식물플랑크톤 군집에 변화에 미치는 수질환경과의 상관관계를 분석하여 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 영일만의 식물플랑크톤 군집분포는 담수유입의 영향을 받는 염분 농도와 높은 상관관계를 보였다. 식물플랑크톤의 현존량을 나타내는 클로로필-*a*와 염분은 높은 음의 상관관계(r=-0.82, p＜0.01)를 나타내었고, 투명도와는 높은 양의 상관관계(r=0.59, p＜0.01)를 나타내었다. 이는 식물플랑크톤 현존량이 연중 가장 높았던 9월 영일만 내측 정점 1에서 클로로필-*a* 농도는 23.60 ㎍/L으로 연중 최고치를 보였으며, 이때 영일만 내측 정점 1의 표층 염분은 27.41, 투명도는 2m로서 연중 가장 낮은 수치를 보였던 것과 일치한다. 염분은 pH와도 높은 음의 상관(r=-0.75, p＜0.01)을 보였으며, 식물플랑크톤 증식에 따른 광합성 결과 용존산소가 증가하면서 DO와 pH 또한 양의 상관(r=0.60, p＜0.01)을 보였다. 이러한 결과는 식물플랑크톤의 증식으로 이산화탄소가 소비되면서 pH가 높아진다(David, 1995)는 것을 보여준다. Jung 등(2012)의 보고에 따르면 pH 값에 따른 식물플랑크톤의 개체수 및 클로로필-*a*의 상관계수는 각각 0.53과 0.49(p＜0.001)로 식물플랑크톤 현존량의 증가에 따라 pH도 증가하였다. 염분은 용존무기인(r=-0.78, p＜0.05)와 규산규소(r=-0.43, p 〈0.01)와 높은 음의 상관관계를 보였으며, 이는 형산강으로부터 담수 유입이 영일만 수질환경에 크게 영향을 미치고 있음을 보여주고 있다. 형산강 담수유입은 용존무기인의 농도에 직접적으로 영향을 미치며(Kim과 Kim, 2004), 영양염의 계절별 공간분포는 형산강에서 영일만으로 유입되어 확산되는 패턴을 분석했을 때 풍수기 뿐만 아니라 갈수기에도 형산강 유출수의 흐름에 영향을 받는다고 알려져 있다(Lee 등, 2003).

형산강 유출수가 영일만 생물생산에 미치는 영향을 분석하기 위하여 국가 수자원관리종합정보시스템(http://www.wamis.go.kr)의 포항관측소의 실시간 일유량자료를 활용하였다. 연구기간 동안 포항 형산강의 일 유량은 13.71～329.38 ㎥/sec의 분포를 보였다(Fig. 7). 조사일 기준으로 5월과 6월에는 일 유량이 50 ㎥/sec 이하, 7월에는 150 ㎥/sec 정도로 비교적 낮은 유량을 보였으며 이때 영일만의 용존무기인 농도는 매우 낮았다. 8월에는 조사일(8월 22일) 11일 전인 8월 11일 294 ㎥/sec의 유량을 보였으나, 조사일 직전 낮은 유량으로 조사 당시 용존무기인의 농도는 매우 낮았던 것으로 판단된다. 9월에는 조사일 직전 일평균 100 ㎥/sec로 가장 많은 유량을 보였으며 이때 영일만 내측 표 · 저층 용존무기인 농도는 0.16～0.19 μM로서 연중 가장 높은 수치를 나타내었다. 유량의 증가에 따른 용존무기인 농도 증가는 식물플랑크톤 현존량 증가에도 직접적인 영향을 미쳐 9월 식물플랑크톤 현존량은 3,000 cells/mL이상으로 연중 가장 높았다.

Table 3. Coefficients of the pearson correlation between phytoplankton and surface water parameters in Youngil Bay from May to Nov. in 2010

	Temp.	Sal.	pH	DO	DIN	DIP	SiO_2-Si	Chl-a	*Secchi*-disk depth
Temp.	1								
Sal.		1							
pH		-0.751**	1						
DO	-0.467*		0.602**	1					
DIN					1				
DIP		-0.780**	0.765**	0.523*		1			
SiO_2-Si		-0.452*	0.528*			0.631*	1		
Chl-a		-0.822**	0.542*			0.549*		1	
Secchi-disk depth		0.594**	-0.511*			-0.487*	-0.445*	-0.529*	1

* Denotes p 〈0.05. ** Denotes p 〈0.01.

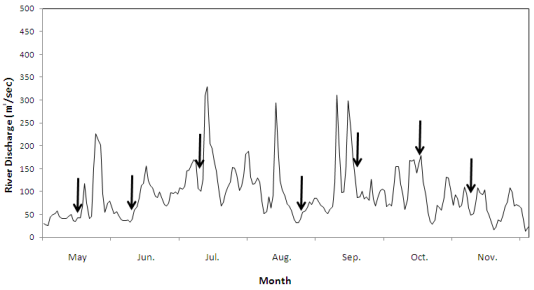

Fig. 7. River discharge (daily means) of Hyeongsan River at Pohang, Kyoungsangbukdo (WAMIS, 2010). Sampling dates are shown by arrows.

형산강 일 유량은 용존무기인 농도 및 식물플랑크톤의 현존량과 같은 분포 패턴을 보였으며, 갈수기에는 용존무기인 농도가 급격히 낮아지면서 질소와 인의 비가 16 이상으로 식물플랑크톤의 성장에 인이 제한인자로 작용하는 것으로 판단된다. 해양에서 식물플랑크톤의 성장을 제한하는 영양염은 질소로 알려져 있으나(Hecky와 Kilham, 1988), 육지의 영향을 직접적으로 받는 만의 경우 제한영양염이 계절과 해역 특성에 따라 다르게 나타나며(Fisher 등, 1992; Graneli 등, 1990), 인이 식물플랑크톤 증식의 1차 제한인자로서 작용한다고 보고하고 있다(Jin 등, 2011; Jenifer 등, 2008). 형산강의 유입으로 영일만 영양염 분포는 기수역과 비슷한 공간적 분포를 보이며, 특히 담수유입의 영향을 직접 받는 곳은 인이 제한된다(Conley, 2000; Pennok와 Sharp, 1994). 따라서 영일만은 지형적인 특성으로 인해 형산강의 일 유량에 의한 용존무기인의 농도 변동이 영일만 생물생산량에 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 영일만의 수질환경과 식물플랑크톤 군집의 시공간적인 변화를 밝히기 위해 영일만 내측, 중앙부 그리고 외측의 3개 정점을 대상으로 2010년 5월부터 11월까지 월 1회 조사하였다. 조사기간 중 출현한 식물플랑크톤은 규조강(Bacillariophyceae) 33종, 와편모조강(Dinophyceae) 23종, 유글레나조강(Euglenophyceae) 1종, 황색편모조강(Crysophyceae) 2종 및 은편모조강(Cryptophyceae) 1종으로 나뉘었다. 현존량은 9월에 가장 높았으며 이때 강우 후 표층 용존무기인의 농도가 연중 가장 높았다. 영양염, 클로로필-*a*와 식물플랑크톤 현존량은 영일만 내측에서 외측으로 갈수록 점차 감소하는 경향을 보였다. 수질환경과 식물플랑크톤의 상관관계를 분석한 결과 염분은 클로로필-*a*와는 높은 음의 상관관계($r=-0.82$, $p<0.01$)를 나타내었고, 용존무기인과 pH와도 높은 음의 상관관계(각각 $r=-0.78$, $r=-0.75$, $p<0.01$)를 보였다. 수질 인자 간 상관분석 결과 강우에 의한 형산강의 유출이 영일만 수질환경에 큰 영향을 미치며, 특히 이때 공급되는 용존무기인이 영일만의 생물생산량을 증가시키는 주원인인 것으로 추정된다.

감사의 글

본 연구는 국립수산과학원 유해생물 모니터링 및 피해저감 연구(과제번호: 13-OE-15) 사업의 지원으로 수행되었습니다. 자료 수집에 도움을 주신 탐구 12호의 승무원 및 과제 관련 연구원들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

Cecilia, A. P., Jorge, E. M., 2008, Spatial and temporal variability of phytoplankton and environmental factors in a temperate estuary of South America(Atlantic coast, Argentina), Continental Shelf Research, 28, 236-244.

Choi, K. H., 1993, Oceanographic properties of the Yeongil Bay, Thesis, Pukyong National University, Busan Korea, pp. 47.

Conley, D. J., 2000, Biogeochemical nutrient cycles and nutrient management strategies, Hydrobiologia, 410, 87-96.

David, H. M., 1995, Marine life and the sea, Wadsworth publishing company, pp. 51-79.

Fisher, T. R., Peele, E. R., Ammerman, J. W., Harding, L., 1992, Nutrient limitation of phytoplankton in Chesapeake Bay, Mar. Ecol. Prog. Ser., 82, 51-63.

Forsberg, C., Ryding, S. O., 1980, Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes. Arch. Hydrobiol., 89, 189-207.

Graneli, E. K., Wallstrom, U., Laesson W., Graneli, W.,

Elmgren, R., 1990, Nutrient limitation of primary production in Baltic Sea Area, AMBIO, 19, 142-151.

Hecky, R. E., Kilham, P., 1988, Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environment: a review of recent evidence on the effect enrichment, Limnol. Oceanogr., 33, 796-822.

Hong, A. R., 2009, Spatio-temporal variation of phytoplankton community in Yeong-il Bay, Korea, Thesis, Pukyung National University, Pusan, Korea, pp. 58.

Jennifer, C., Mary, O., Alan, D. S., 2008, Phytoplankton response to light and internal phosphorus loading from sediment release, Freshwater Biol., 53, 2530-2542.

Jin, L., Hongjuan, W., Mengqiu, C., 2011, Effect of nitrogen and phosphorous on phytoplankton composition and biomass in 15 subtropical, urban shallow lakes in Wuhan, China, Limnologica, 41, 48-56.

Jung, S. W., Park, J. K., Jeong, D. H., Lim, D. I., 2012, Seasonal changes in water masses and phytoplankton communities in the western part of south coastal waters, Korea, Korean J. Environ. Biol., 30(4), 328-338.

Jo, E. Y., Cha, J. H., Kim M. K., Kim, K.T., 2000, Studies on the ecosystem in the Yeong-il Gulf of Korea, I. Species composition and diversity of phytoplankton communities, Algae, 15(1), 49-59.

Kang, Y. S., Kim, K. Y., Shim J. M., Sung K. T., Park J. I., Kong J. Y., 2002, Spatio-temporal variations of water quality in Yongil Bay, J. Korean Fish. Soc., 35(4), 431~437.

Kim, K. T., 1992, The Study of the East-Western Sea of Korea. Yeungnam University Press, Kyeongsan, Korea, 170-237.

Kim, Y. S., Kim, Y. S., 2004, The Effect of freshwater inflow on the spatio-temporal variation of water quality of Yeongil Bay, Korean J. Environ. Biol., 22(1), 57-65.

Kocum, E., Underwood, G. J. C., Nedwell, D. B., 2002, Simultaneous measurement of phytoplanktonic primary production, nutrient and light availability along a turbid, eutrophic UK east coast estuary(the Colne Estuary), Marine Ecology Progress Series, 231, 1-12.

Lee, J. S., Kim, C. K., Kim, J. H., Lim, K. B., 1995, Current structures and diffusion characteristics in Youngil Bay, J. Oceanol. Soc. Korea, 30(5), 467-479.

Lee, M. K., Lim, D. I., Um, I. K., Shin, E. B., Jung, H. S., 2003, Seasonal variation and spatial distribution of water qualities in Youngil Bay, southeast coast of Korea, J. Korean Soc. Environ. Engineers, 25(7), 898-908.

Lee, T. W., 1999, Seasonal variation in species composition of demersal fish in Yongil Bay, east coast of Korea, J. Korean fish. Soc. 32, 512-519.

Lie, H. J., Suk, M. S., Kim, C. H., 1989, Observations of southeastward deep currents off the east coast of Korea, J. Oceanogr. Soc. Korea, 24(2), 63-68.

MLTMA, 2010, Standard methods of marine environment, Korea, pp. 495.

Pennock, J. R., Sharp, J. H., 1994, Temporal alternation between light nutrient-limitation of phytoplankton in a coastal plain estuary, Marine Ecology Progress Series, 111, 275-288.

Shim, J. H., Bae, S. J., 1985, The distribution of phytoplankton in Yeongil Bay, Korea, J. Oceanol. Soc. Korea, 20, 49-60.

Shim, J. H., Yeo, H. G., Park, J. G., 1995, Primary production system in the southern waters of the East Sea, Korea, (Ⅱ) The structure of phytoplankton community, J. Korean Soc. Oceanogr., 30(3), 163-169.

Thomas, C. R., 1977, Identifying marine phytoplankton, Florida Marine Research Institute, St. Petersburg, Academic Press, pp. 858.

Yoon, Y. H., Kim, S. A., 1996, Seasonal variation of phytoplankton population and primary productivity in the southern coastal waters of Korea,, J. Environ. Soc. Korea, 5(3), 347-359.