

2011년 진해만 식물플랑크톤 군집의 계절적 변화

박경우* · 서영상** · 임월애**†

*, ** 국립수산물품질관리원 수산해양종합정보과

Seasonal Changes in Phytoplankton Composition in Jinhae Bay, 2011

Kyung-Woo Park* · Young-Sang Suh** · Weol-Ae Lim**†

*, ** Fishery and Ocean Information Division, NFRDI, 152-1 Haeanro, Gijang-eup, Gijang-gun, Busan, 619-705, Korea.

요 약 : 진해만에 출현하는 식물플랑크톤을 정량 분석하여 종조성과 분포를 시·공간적으로 파악하고, 군집의 변화와 환경요인과의 관계를 파악하기 위해, 진해만 주변해역 15개 정점에서 2011년 1월부터 2011년 12월까지 매월 1회씩 총 12회 조사하였다. 식물플랑크톤은 총 158종 출현하였으며, 이 중 규조류가 95종, 와편모류가 58종, 유글레나류가 1종, 규질편모류가 4종 출현하였다. 조사 기간 동안 식물플랑크톤의 개체수는 각 정점에서 $4.0 \times 10^3 \sim 9.0 \times 10^7$ cells·L⁻¹의 범위로 나타났다. Chl.a의 경우 7월 평균 값이 가장 높게(13.19 mg·m⁻³) 나타났으며, 3월 평균 값이 가장 낮게(3.44 mg·m⁻³) 나타나, 식물플랑크톤의 현존량과 유사한 양상을 보이고 있었다. 정량 분석 결과 우점종의 경우, 봄철 *Leptocylindrus danicus*, *Pseudo-nitzschia* spp.이 나타났으며, 여름철 *Dactliosolen fragilissimus*, *Pseudo-nitzschia* spp., 가을과 겨울에는 *Chaetoceros* spp., *Skeletonema* spp.가 우점하여 계절별 종 특이성을 나타내고 있었다. 조사 기간 동안의 질소와 인의 총량의 DIN:DIP비는 진해만 서부 해역은 14:1의 비율을 보였고, 진해만 동부 해역은 28:1의 비율로 보다 높은 질소의 양을 나타내고 있었다. 또한 총인과 총질소 Chl.a 또한 진해만 서부 해역과 비교하여 진해만 동부 해역이 보다 높게 나타났다. 또한 *Thalassiosira* spp.와 *Skeletonema* spp.에 의해 진해만 동부해역이, *Leptocylindrus danicus*와 *Pseudo-nitzschia* spp.에 의해 진해만 서부 해역으로 식물플랑크톤 군집 구조에 의해서 나뉘어 졌다.

핵심용어 : 수환경, 식물플랑크톤 현존량, 식물플랑크톤 군집, 군집 분석, 진해만

Abstract : Geographic distribution and species composition of phytoplankton were investigated in Jinhae Bay for 12 months. Total 158 species were found including 95 bacillariophyceae, 58 dinophyceae, 1 euglenoids, and 4 dictyochaceae. The total cell numbers of phytoplankton ranged from $4.0 \times 10^3 \sim 9.0 \times 10^7$ cells·L⁻¹. Highest and lowest amounts of cells were found in July (Chl.a 13.19 mg·m⁻³) and March (Chl.a 3.44 mg·m⁻³), respectively. *Leptocylindrus danicus* and *Pseudo-nitzschia* spp. were dominant in spring, and *Dactliosolen fragilissimus* and *Pseudo-nitzschia* spp. were dominant in summer. *Chaetoceros* spp. and *Skeletonema* spp. were dominant in autumn and winter. The amounts of nitrogen and phosphorus were also measured during the survey. Higher ratio of nitrogen (DIN:DIP = 28:1) was found in the east Jinhae Bay compared to the ratio of the west Jinhae Bay that showed 14:1 of N:P ratio. The total amounts of nitrogen, phosphorus and Chl.a were also higher in the east Jinhae Bay compared to the west area. The geographic differences between the east and west of Jinhae Bay were also discussed along with phytoplankton composition.

Key Words : Water environments, Phytoplankton density, Phytoplankton community, Cluster analysis, Jinhae Bay

1. 서 론

식물플랑크톤 군집은 생태계 내 일차생산자로서 상위 영양단계의 중요한 먹이와 에너지원으로 그 중요성이 인식되

고 있다. 또한 식물플랑크톤의 군집 변화는 해양환경 변화의 생물학적인 지표가 될 수 있다(Brogueira et al., 2007).

진해만은 외해수와 내해수 교환이 경내량과 가덕수로로 제한된 반폐쇄성 내만역의 특징을 가지고 있지만, 기상 조건에 따라서 해황의 변동이 심하며, 외양과 내만의 혼합 정도가 커서 난류 형성이 보고되기도 하였다(Han et al., 1991;

* First Author : areshan12@naver.com, 051-720-2247

† Corresponding Author : limwa@nfrdi.go.kr, 051-720-2223

Cho et al., 1998). 반면 진해만에 포함되어 있는 마산만과 행암만 원문만 및 고현만은 해수의 유동이 원활하지 못한 온대 내만 해역으로서 일반적으로 여름철에 육지로부터 담수가 유입되고 표층수의 수온상승으로 표층으로부터 저층으로의 산소 공급이 원활하지 못해 저산소 수괴를 형성한다 (Lee, 1993). 마산만은 최초로 적조 연구가 이루어진 해역으로, 높은 영양염으로 인하여 적조규모가 대형화·장기화가 이루어 지고 있다. 행암만 또한 내만의 생활하수 및 산업폐수의 영향으로 부영양화가 심화된 해역으로 겨울철에도 빈번하게 적조 현상이 나타나며 환경수질 기준에 평균 2배 이상을 초과하는 유기물질로 오염되어 있다. 원문만 및 고현만 도 도시와 산업시설에 의한 오폐수의 유입과 외해수와의 교환이 원활하지 않아 수질이 나빠지며, 이로 인한 적조가 빈번하게 발생하는 해역이다.

진해만 해역을 대상으로 한 선행연구에서 식물플랑크톤 연구는 지금까지 분포와 군집구조(Yoo and Lee, 1976; Park, 1980; Park and Lee, 1990; Han et al., 1991; Baek and Kim, 2010)를 통해서 구조류의 우점 정도가 높고, *Akashiwo sanguinea*, *Alexandrium* spp., *Heterosigma*, *Prorocentrum*과 같은 적조 생물이 빈번히 나타났다. 그러나 마산만과 진해만 일부 지역으로 조사가 한정되었으며, 조사 시기 또한 한 계절로 단기조사가 이루어 졌다. 또한 환경인자와 식물플랑크톤의 성장특성(Yoo and Lee, 1979; Yoo and Lee, 1980), 적조 원인생물 분포 및 발생기작(Cho, 1978; Cho, 1979; Lee et al., 1981; Park, 1982), 부영양화 제어 수치 모델과 식물플랑크톤 군집 구조 수치모델(Kim, 1989; Kim et al., 1995), 광환경에 따른 광합성 특성(Park et al., 2001) 등 다양한 연구들이 수행되어 다른 해역에 비하여 일차 생산자에 대한 연구가 많이 수행되었지만, 장기간 모니터링은 이루어지지 않고 있었다.

따라서 본 연구에서는 진해만 해역의 2011년부터 주기적인 조사를 통하여 식물플랑크톤 군집구조의 시·공간적 분포 특성을 살펴보고자 한다.

2. 재료 및 방법

조사 해역은 가덕도~진해~마산~진동~통영~가조도~칠천도 해역을 포함한 남해 동부 연안 15개 정점으로 2011년 1월부터 12월까지 월 1회씩 조사하였다(Fig. 1).

각 조사 정점의 수온, 염분의 분포 측정은 CTD (Seabird US/SBE 19 plus)를 사용하였다. 식물플랑크톤 종조성과 정량 분석은 2 L Niskin 채수기를 이용하여 채수한 해수를 1 L의 채수병에 넣고 바로 Lugol's solution으로 최종농도 3%가 되도록 고정하였다. 고정된 시료는 최종 20 mL로 농축 시킨

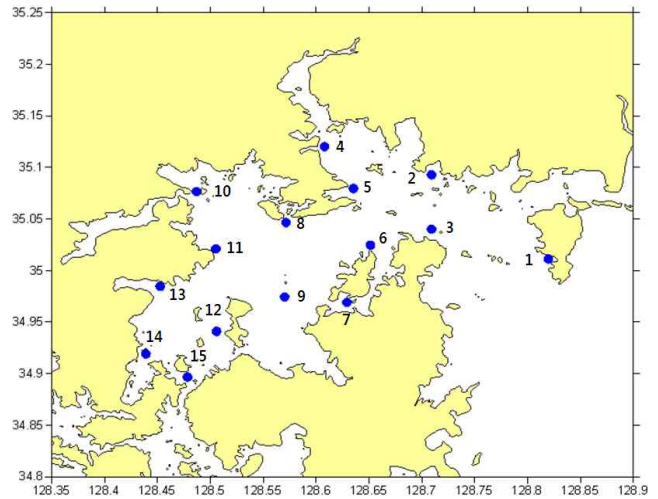


Fig. 1. Map showing the sampling locations in Jinhae Bay.

후 잘 흔들어 그중 100~200 μ L 채취하여 200 또는 400배율 (Nikon ECLIPSE E600)로 동정 및 계수하였다. Chl.a 농도 측정은 표층수 500 mL를 선상에서 0.45 μ m pore membrane filter(47 mm Whatman membrane filter)로 여과하였다. 여과지는 90% acetone에 넣고 24시간 냉암소에서 염록소를 추출한 후 형광측정기(Turner Designs 10-Au Fluorometer)로 분석하였다. 여과 해수는 500 mL 채수병에 넣고 냉동 보관하여 Parson et al.(1984)에 의해 기술된 분광광도법을 이용하여 용존 무기 영양염류를 측정하였다.

정점별 영양염과 주요우점종간의 상관관계는 SPSS를 이용하여 Pearson 상관계수를 구하여 인자간의 유의성을 살펴 보았고, 식물플랑크톤의 군집구조는 각 정점에 출현한 식물플랑크톤 군집을 이용하여 Bray-Curtis 유이도를 산출하였으며, PRIMER version 5를 이용해 Cluster 분석을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 진해만의 환경 특성

반폐쇄 해역인 진해만의 수온, 염분, 영양염 농도 등의 물리적특성과 화학적특성에 대한 조사 월별 분석 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 조사기간 동안의 평균 표층 수온은 4.58(\pm 0.76)~25.67(\pm 1.59) $^{\circ}$ C의 분포를 나타내며, 1월에 가장 낮고 9월에 가장 높았다. 수온의 월별 분포양상은 마산만과 행암만 내측정점에서 낮게 나타나 진해만 동부 외측으로 갈수록 높아지고 있었으며, 서부 해역은 정점간 조사시기에 따른 수온 분포가 균등한 특성을 보이고 있었다. 염분의 경우 23.05(\pm 5.03)~33.28(0.20) psu의 분포를 나타내고 있었으며, 2월에 최고값을 7월에 최저값을 보였다. 정점 1은 7월에 17.6 psu로 매우 낮은 염분을 나타내고 있었다. 이

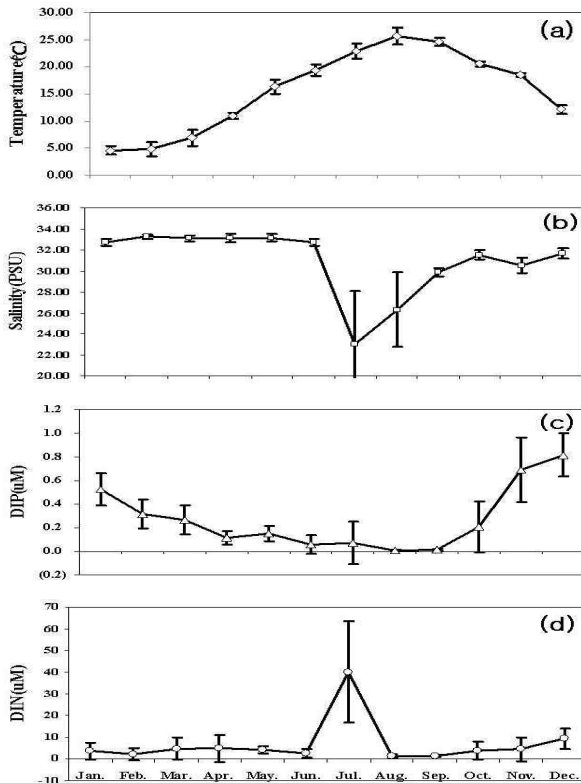


Fig. 2. Temporal variation of (a) temperature, (b) salinity, (c) DIP, (d) DIN, concentration from Jan. to Dec. 2011 in Jinhae Bay.

는 강우로 인한 담수 유입과 낙동강에서 방류수의 영향으로 판단된다. 인산염인의 평균 농도 범위는 $0.01(\pm 0) \sim 0.82(\pm 0.18) \mu\text{M}$ 의 범위를 나타냈고, 8월에 가장 낮고 12월에 가장 높았다. 용존 무기인(Dissolved Inorganic Phosphorus; DIP)은 정점2와 정점4에서 외측으로 갈수록 점차 낮아 지는 경향을 보이고 있었다. 용존 무기질소(Dissolved Inorganic Nitrogen; DIN)의 평균 농도는 $1.38(\pm 0.77) \sim 40.02(\pm 23.36) \mu\text{M}$ 의 범위를 나타내며 9월에 가장 낮았고 7월에 가장 높았다. 특히 7월 정점1에서 $84.64 \mu\text{M}$ 의 매우 높은 값을 나타내고 있었는데, 이는 염분과 마찬가지로 강우로 인한 담수의 유입으로 인한 것으로 사료 되어지며, 조사 기간 동안 진해만 동부 해역은 서부 해역에 비해 높은 DIN값을 유지 하고 있었다(Fig. 2).

3.2 식물플랑크톤의 분포특성

표층수에 출현한 식물플랑크톤은 총 158 종으로 동정되었으며, 규조류(Bacillariophyceae)가 43속 95종, 와편모조류(Dinophyceae)가 23속 59종, 유글레나류(Euglenophyceae)가 1속 1종, 규질편모조류(Dictyochaceae)가 2속 3종으로 나타났

다. 조사 시기별 식물플랑크톤의 주요 그룹은 규조류가 70% 이상으로 우점을 하였고, 나머지는 와편모조류와 규질편모조류 순으로 나타났다. 이는 본 해역과는 정점과 조사 시기가 달라 총 종수는 다르게 나타났지만, 과거 유사 정점의 조사 결과 규조류의 우점이 65~80% 이상으로 우점한 결과와 유사한 결과를 보여주고 있었다(Park and Lee, 1990; Han et al., 1991; Baek and Kim, 2010).

Chl.a의 경우 7월 $20.75(\pm 5.06) \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 으로 가장 높게 나타났으며, 3월 $2.18(\pm 0.96) \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 으로 가장 낮게 나타나(Fig. 3), 식물플랑크톤의 현존량과 유사한 양상을 보이고 있었다.

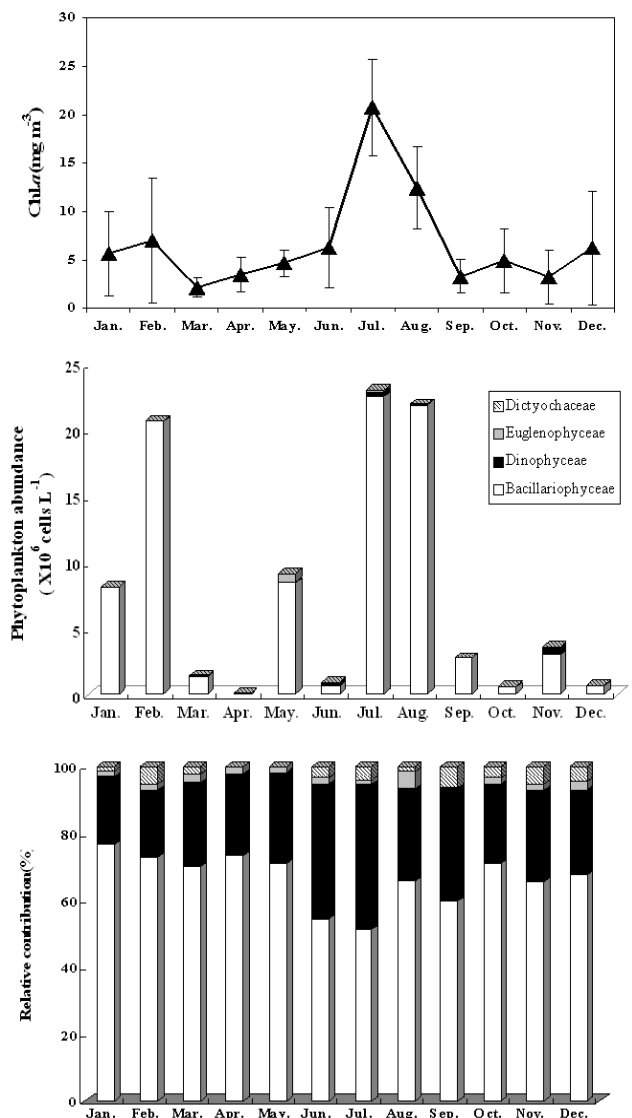


Fig. 3. Temporal variation of phytoplankton abundances, Chl.a and relative contribution from Jan. to Dec. 2011 in Jinhae Bay.

식물플랑크톤의 현존량은 평균 $0.59 \times 10^6 \sim 25.56 \times 10^6$ cells·L⁻¹의 큰 변동범위로 평균 194×10^4 cells·L⁻¹을 나타내어, Yeo and Park(1997)이 조사한 202×10^3 cells·L⁻¹와 Yoo et al.(2007) 조사에서 535×10^3 cells·L⁻¹보다 높은 현존량을 나타내고 있었다. 연안해역에서는 식물플랑크톤이 춘계와 추계에 대발생이 일어나는 것이 일반적이나(Zingone et al., 1995; Carstensen et al., 2004), 본 해역에서는 동계와 하계에 대발생을 보이며 Yoo et al.(2007)과 유사한 양상을 보였다. 남해 연안은 낮은 수심으로 인하여 활발한 해수 혼합과 많은 광량 등으로 동계에 높은 현존량이 쉽게 관찰되어 왔고(Yoon and Koh, 1995; Yoon, 1999), Yeo and Park(1997)에 의하면 하계 대발생은 장마 이후 많은 담수 유입과 함께 공급된 영양염류로 인해 대발생이 이러 난다고 보고한바 있다. 일부 조사 시기를 제외하고 규조류의 현존량은 약 90% 이상으로 높게 나타나고 있었으며, 7월에 *Prorocentrum micans* 가 다소 높게 나타났는데, 이는 Choi et al.(2000)의 연구 결과 7월에 *P. micans*와 *P. triestinum*이 동시에 Bloom을 일으키며 본 연구와 비슷한 출현 양상을 보이고 있었다. 그러나 최대 세포 밀도에서는 19×10^5 cells·L⁻¹(Choi et al., 2000)로 본 조사의 21×10^5 cells·L⁻¹는 다소 높게 나타나고 있었는데 이는 *Prorocentrum*속 조류가 Bloom을 일으킨 시기가 고수온 기로(평균 25.3 °C) 본 조사에서 표층수온이 약 22.8 °C로 다소 낮은 수온의 영향으로 판단되어 진다. 또한 11월에 *Akashiwo sanguinea*와 같은 와편모류의 현존량이 다른 계절에 비해 높았고 5월에 규질편모조류의 세포수가 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 우리나라 남해 해역의 경우 고수온 기에는 비교적 와편모조류의 출현이 높고 이들에 의해 우점 현상이 보여지는 내용과는 다른 결과였으나(Yoon et al., 1992; Yoon, 1995), 중위도 온대해역은 연중 규조류에 의해 점유되는 비율이 높은 특성을 보인다는 연구결과와(Nybakken, 1993)과 유사한 결과를 나타내고 있었다. 또한 Yoon(1995)은 남해연안의 식물플랑크톤 군집에서 규조류는 계절에 관계없이 비교적 오랜 기간 출현이 지속되고 있는 반면, 와편모조류는 한정된 계절에 매우 일시적으로 출현하는 경향을 나타내고 있어 동일 해역일지라도 조사 빈도에 따라 와편모조류에 의한 점유율이 높아지는 결과를 나타내고 있어(Yoon et al., 1992; Yoon, 1995), 동일해역에서도 조사시점의 차이에 의해 다소 다른 결과를 나타낸 것으로 사료된다.

동정된 식물플랑크톤의 순위-빈도를 Fig. 4에 나타내었다. 우점종은 *Dactyliosolen fragilissimus*(21.7%), *Pseudo-nitzschia* spp.(16.8%), *Chaetoceros* spp.(15.7%), *Thalassiosira* spp.(13.6%), *Skeletonema* spp.(9.7%), *Leptocylindrus danicus*(6.8%) 순으로 나타났으며, 전체 출현 개체수 1% 이상의 출현빈도를 점유한 이들 상위 6종이 총 출현 개체수의 84.3%를 차지하였다.

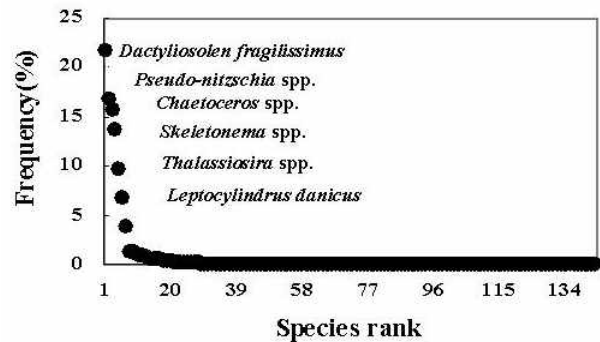


Fig. 4. Species rank-frequency distribution diagram of phytoplankton. Frequency represents % relative abundance of each species of a total of numerical abundance collected.

이들 종들은 진해만 일대에서 빈번하게 출현하는 연안종으로 나타났다. 진해만 일대의 연구들(Yeo and Park, 1997; Yoon et al., 2001; Yoo et al., 2007; Baek and Kim, 2010)과 비교했을 때 *Chaetoceros affinis*, *Leptocylindrus danicus*, *Pseudo-nitzschia pungens*, *Protoperidinium depressum*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiothrix frauenfeldii* 등으로 발생시기와 우점시기 및 종 조성에서 약간씩 차이를 보였지만, 대부분 비슷한 종들이 우점하고 있었다.

우점종 중 상위 6종의 월별 현존량과 정점별 분포를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. *D. fragilissimus*는 프랑스 연안에서 Bergon(1903)에 의해 처음으로 연구되어 기록된 종으로, *Thizosolenia flagilissima*에서 Hasle(1975)의 연구에 의해 *D. fragilissimus*으로 속명과 종명이 변경되었다. 우리나라에서는 광양만과 여수해만에서 Yoo(1975)에 의해 처음으로 보고되었고, 한국해양연구원 연구 조사에서 2002년 4월에 우점하는 종으로 나타났다. 본 해역에서는 5월 진해 남서부 해역인 통영 해역(정점 12, 14, 15)에서 우점하였고, 8월에는 전체에서 85.7%의 극우점을 모든 정점에서 높은 밀도를 나타냈지만 다른 계절에서의 출현은 미비하였다. *P. spp.*는 전 조사기간 동안 빈번히 출현하고 있었으며, 특히 7월 일부 정점(1, 2, 3, 5)을 제외한 정점에서 우점하며 나타나고 있었다. 특히 패류 양식장이 많이 밀집되어 있는 진동과 통영 주변 해역에서 높은 밀도로 나타내고 있었는데, *P. spp.* 기억상실성 패류독소의 원인물질인 Domoic acid를 생산하는 것으로 알려져 있어 앞으로 관심을 가지고 지켜보아야 할 것으로 사료된다.

P. spp. 외에도 *L. danicus*와 *S. spp.*, 등도 규조 적조를 일으키는 종으로 부영양화된 해역에서 대량 발생하며, 대량 발생시 분해과정에서 발생하는 황화수소, 메탄가스, 암모니아 등 유독물질과 저층수의 빈산소 현상으로 어패류의 성장에 장애가 발생하게 된다(Lee, 2002).

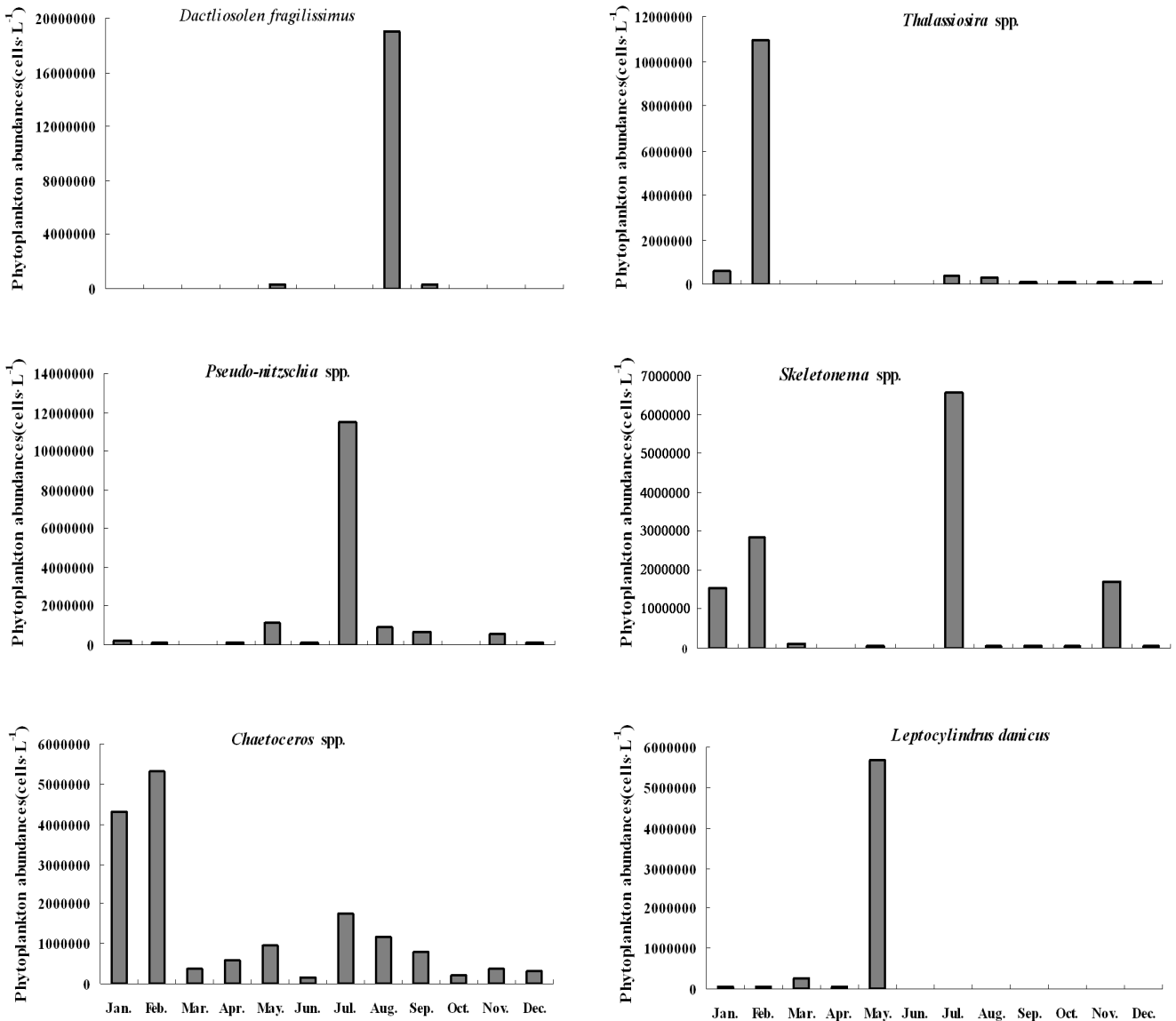


Fig. 5. Temporal variation of dominant phytoplankton(Relative abundance > 1%) during the study periods, 2011.

와편모조류인 *Akashiwo sanguinea*는 진해만 전체해역에서 우점종으로 나타나지는 않았지만 2011년 11월 정점 2, 10, 11, 13, 14와 15에서 우점하면서 나타났다(Fig. 7). *A. sanguinea*는 주로 온대해역에서 열대 해역의 연안까지 분포 범위가 넓으며, 우리나라 연안의 모든 해역에서 출현 한다 (Bockstahler and Coats, 1993; Botes et al., 2000; Wu et al., 2000; Kim 2005). 이 종은 담수 유입에 따른 영양염 공급, 수괴 안정 및 광도가 높은 경우 적조를 형성하는 종으로 (Robichaux et al., 1998), 11월 정점 1, 11, 14와 15에서 우점 하였으며 전 정점에서 적조 띠를 형성하며, 오랜 기간 진해 만 일대에 적조를 발생 시켰다. 이는 수온이 18~19 °C 로 예

년에 비해 1~2 °C 정도 높았으며, 강수량이 많아 영양염류의 유입이 있었고, 강우 후 일사량 또한 증가하여 발생 한 것으로 사료 되어 진다.

Shannon-Wiener의 다양도지수와 균등도지수는 출현 종수 와는 반드시 일치하는 경향으로 나타나지 않았다. 58종으로 출현종이 비교적 높았던 8월의 경우 다양도지수와 균등도 지수가 오히려 가장 낮게 나타났는데, 이는 8월에 우점종인 *Dactliosolen fragilissimus*과 약 89%로 극우점함으로써 오히려 다양도지수와 균등도 지수가 낮게 유지되었다. 반면 3월과 12월의 경우 출현 종수는 상대적으로 적게 나타났으나, 다양도 지수와 균등도 지수는 높게 나타났다(Fig. 8).

2011년 진해만 식물플랑크톤 군집의 계절적 변화



Fig. 6. Horizontal distribution changes is Phytoplankton dominant during study periods.

영양염과 주요우점종간의 상관관계를 살펴보기 위하여 SPSS를 이용하여 Pearson 상관계수를 구하였고, 유의성 거증은 $p = 0.05$ 에서 판정하였으며, 결과는 Table 1에 나타내었다. *S. spp.*와 *T. spp.*는 DIN, DIN : DIP과 Chl.a 농도와 정(+)의 상관관계를 나타내고 있었고, 염분과는 음(-)의 상관관계를 나타내고 있었다. 영양염의 농도와 그 구성비는 식물플랑크톤의 종조성과 천이에 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Redfield et al., 1963; Ryther and Dunstan, 1971;

Bizsel and Uslu, 2000; Wu and Chou, 2003). 이 두종은 진해만 해역의 높은 질소기원의 영양염과 낮은 염분 조건하에서 현저히 증식하여 Chl.a 농도 증가에 기여하였다고 사료되어진다. *S. spp.*는 광온, 광염성종으로 기수역과 연안해역에 널리 분포하는 종으로 우리나라 연안해역에서 계절에 관계없이 빈번히 출현하고 고수온기에 저염분수에 자극을 받아 대증식을 한다(Han et al., 1992; Yoo et al., 2007). *C. spp.*는 수온과 DIN에서 정(+)의 상관관계를 나타내고 있었다. 진해

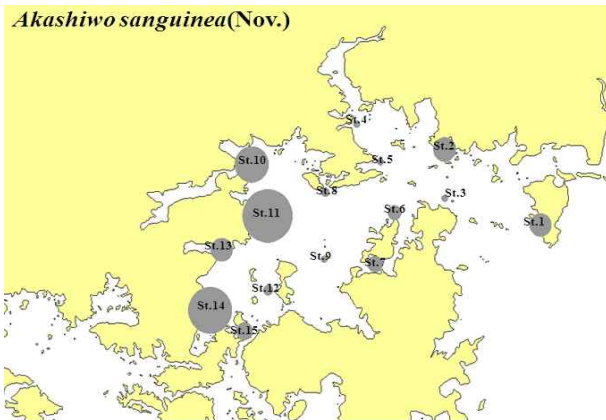


Fig. 7. Horizontal distribution changes is *Akashiwo sanguinea* in Jinhae Bay from Nov. 2011.

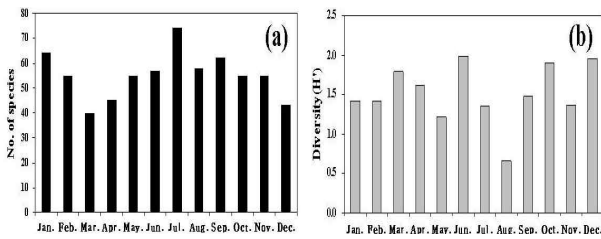


Fig. 8. Temporal variation of (a) No of species and (b) diversity(H') from Jan. to Dec. 2011 in Jinhae Bay.

만 해역에서 최우점종이었던 *D. fragilissimus*와 *P. spp.*는 환경요인과는 뚜렷한 관계를 찾을수 없었다. 특히 *D. fragilissimus* 전체 출현양에 약 22%를 차지하고 있었지만, 이는 8월에 집중적으로 출현함으로써 환경인자간의 상관관계 수가 낮으며, 유의성도 없이 나타난 것으로 판단된다.

조사기간 중 출현한 월별 식물플랑크톤 종조성과 현존량을 바탕으로 Cluster 분석 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 식물

플랑크톤의 군집구조와 출현양상에 따른 정점별 차이는 크게 2개의 그룹으로 구분할 수 있었다. 제 I 그룹은 가덕도와 진해와 마산만 외측, 일부 거제 북부 해역의 7개 정점으로 상세히 살펴 보면 정점 2, 3, 4, 5, 6, 8 등이 같은 그룹으로 묶이는 것을 볼수 있었다. 제 II 그룹은 진동, 고현, 통영의 8개 정점으로 진해만 남서해역인 정점 12, 14와 15가 같은 그룹으로 묶였고, 나머지 5개 정점이 하나의 그룹으로 묶였다(Fig. 9). 이는 Baek and Kim(2010)에 의한 하계 조사 Cluster 분석 결과에서 마산만 내측으로 하나의 그룹과 나머지 정점이 묶이는 제 II 그룹으로 나누어진 결과와는 다른 양상을 보이고 있었지만, 제 II 그룹을 상세히 살펴보면 진해만 남서해역(통영주변 해역)과 진해일대 해역으로 묶이고 있어, 본 조사와 유사한 경향을 보이고 있었다. 또한 조사해역 정점별 DIN : DIP 비가 제 I 그룹은 28 : 1인 반면 제 II 그룹은 14 : 1로 2배의 차이를 나타내며 두 해역간의 뚜렷한 차이를 보이고 있었다.

생물성장에 대해서 DIN : DIP 비가 16 이상이면 인이 제한인자로서, 16 이하이면 질소를 제한인자로 추정하고 있는데 (Graham et al., 1998), 이에 따라 제 I 그룹은 인이 제한인자로서 작용하고 있으며, 제 II 그룹은 질소가 제한인자로 작용하고 있었다. 이런 영양염의 차이는 제 I 그룹에서는 *Thalassiosira spp.*와 *Skeletonema spp.*가 우점하고 있었으며, 제 II 그룹은 *Leptocylindrus danicus*와 *Pseudo-nitzschia spp.*가 우점하며 식물플랑크톤의 군집에도 영향을 미치고 있었다. 식물플랑크톤의 현존량과 Chl.a의 경우 제 I 그룹이 다소 높게 나타나고 있었으며, 질소의 영향을 더 받는 편모조류의 경우도 제 I 그룹에서 높게 나타내며, 진해만 해역은 전체적으로 마산만과 진해를 아우르는 제 I 그룹인 동부 해역과 고성과 통영, 칠천도를 아우르는 제 II 그룹인 서부 해역으로 나뉘어지고 있었다.

Table. 1. Relationship between temperature, salinity, DIN, DIP, DIN : DIP, Chl.a, concentrations and phytoplankton community composition by correlation analysis.

	Temperature	Salinity	DIN	DIP	DIN/DIP	Chl.a	C. spp.	D. fragilissimus	L. danicus	P. spp	S. spp	T. spp
Temperature		-0.774	-0.295	-0.145	-0.285	-0.655	.676	-0.310	.056	-0.200	.637	-0.608
Salinity	N.S		-0.291	-0.167	-0.273	-0.021	.137	.138	-0.270	.055	-0.614	-0.554
DIN	N.S	N.S		.684	.960	.811	.572	-0.117	-0.156	-0.239	.768	.571
DIP	N.S	N.S	**		.467	.678	.238	.093	-0.458	-0.134	.448	.366
DINDIP	N.S	N.S	**	N.S		.715	.588	-0.210	.006	-0.294	.740	.537
Chl.a	**	N.S	**	**	**		.501	.225	-0.205	-0.029	.830	.663
C. spp.	*	N.S	*	N.S	*	N.S		-0.208	-0.056	.049	.655	.204
D. fragilissimus	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S		.001	.542	.180	.429
L. danicus	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S		-0.004	-0.275	-0.196
P. spp	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	N.S	*	N.S		.055	.027
S. spp	*	N.S	**	N.S	**	**	**	N.S	N.S	N.S		.834
T. spp	*	N.S	*	N.S	*	**	N.S	N.S	+N.S	N.S	**	

** : Significance(p) < 0.01, * : Significance(p) < 0.05, N.S : Non Significance

2011년 진해만 식물플랑크톤 군집의 계절적 변화

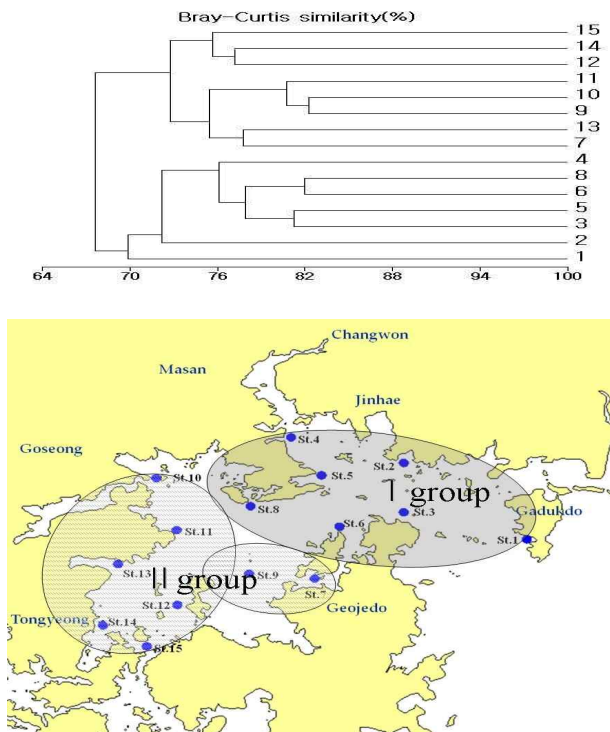


Fig. 9. Joint plots of sites association analyses obtained by cluster, using a data set of the surface species abundances during the study period in Jinhae Bay.

4. 결론

본 연구는 진해만 전체해역에서 식물플랑크톤의 수평적 군집 구조를 파악하기 위해서 2011년 1월부터 12월 까지 월 1회씩, 15개 정점에서 식물플랑크톤 개체수 밀도와 환경요인을 조사하였다. 진해만의 영양염류는 반폐쇄성 지역의 특성으로 인하여 담수 유입의 영향이 매우 크게 나타나, 집중호우가 일어나는 7월과 8월에 높은 DIN과 낮은 염분을 나타내 식물 플랑크톤의 군집구조에 영향을 미치고 있었다. 식물플랑크톤은 총 158종이 출현하였고, 전체의 90% 이상이 규조류의 점유율을 보였고, 다음으로 와편모조류와 규질편모조류, 유글레나 순으로 관찰되었다. 식물플랑크톤의 출현 순위-빈도는 *Dactliosolen fragilissimus*(21.7%), *Pseudo-nitzschia* spp.(16.8%), *Chaetoceros* spp.(15.7%), *Thalassiosira* spp.(13.6%), *Skeletonema* spp.(9.7%), *Leptocylindrus danicus*(6.8%) 순으로 나타나 전체 출현종의 84.3%를 차지하고 있었다. *A. sanguinea*는 11월 진해만 전체 해역에서 다소 높은 밀도를 보이고 적조띠를 형성하며 적조를 발생 시키고 있었다.

각 정점별 우점종과 영양염의 상관 분석결과 *S. spp.*와 *T. spp.*는 DIN, DIN : DIP과 *Chl.a*농도와 정(+)의 상관관계를 나

타내고 있었고, 염분과는 음(-)의 상관관계를 나타내고 있었다. 또한 *C. spp.*는 수온과 DIN에서 정(+)의 상관계수를 나타내고 있었다. 진해만 해역에서 최우점종이었던 *D. fragilissimus*와 *P. spp.*는 환경요인과는 뚜렷한 관계를 찾을 수 없었다. 식물 플랑크톤의 군집구조를 바탕으로 Cluster 분석결과는 진해만 전체해역은 크게 2그룹으로 나누어졌다. 제 I 그룹은 가덕도와 진해와 마산만 외측, 일부 거제 북부해역의 7개 정점으로 *Thalassiosira* spp.와 *Skeletonema* spp.에 의해 진해만 동부해역, 제 II 그룹은 진동, 고현, 통영의 8개 정점으로 *Leptocylindrus danicus*와 *Pseudo-nitzschia* spp. 종에 의해 진해만 서부 해역으로 구분되어 졌다. 진해만 동부해역은 높은 영양염 농도와 낮은 염분농도의 영향을 받고 있었으며, 식물플랑크톤의 현존량 및 *Chl.a*가 높게 나타나고 있었다. 반면 서부 해역은 동부 해역에 비해 낮은 영양염 농도와 높은 염분농도를 나타내며 담수의 유입 영향을 다소 적게 받고 있는 것으로 나타났다. 결과적으로 서부 해역에 비해 다소 내만의 얇은 수심인 동부 해역에서의 식물플랑크톤의 증식은 높은 질소기원의 영양염의 영향으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] Baek, S. H. and Y. O. Kim(2010), The Study of summer seadon in Jinhae Bay-Short-term changes of community structure and horizontal distribution characteristics of phytoplankton-, Korean J. Environ. Biol., Vol. 28, No. 3, pp. 115-124.
- [2] Bergon, P.(1903), Etudes sur la flora diatomique du bassin d' Arcachon et des parages de l' Atlantique voisins des cette station, Bulletin de la Societe d' Arcachon., Vol. 3, p. 49.
- [3] Bizsel, N. and O. Uslu(2000), Phosphate, nitrogen and iron enrichment in the polluted Izmir Bay, Aegean Sea, Mar. Environ. Res., Vol. 49, pp. 101-122.
- [4] Bockstahler, K. R and D. W. Coats(1993), Grazing of the mixotrophic dinoflagellate *Gymnodinium sanguineum* on ciliate population of Chesapeake Bay, Mar. Biol. Vol. 116, pp. 477-487.
- [5] Botes, L., G. C. Pitcher and P. A. Cook(2000), The potential risk of harmful algae to abalone farming the south coast of South Africa, J. Shellfish Res. Vol. 19, p. 502.
- [6] Brogueira, M. J., M. R Oliveira and G. Cabec adas(2007) Phytoplankton community structure defined by key environmental variables in Tagus estuary, Portugal, Mar. Environ. Res., Vol. 64, pp. 616-628.

- [7] Carstensen, J., D. J. Conley and P. Henriksen(2004), Frequency, composition and causes of summer phytoplankton blooms in a shallow coastal ecosystem, the Kattegat, *Limnology and Oceanography*, Vol. 49, pp. 191-201.
- [8] Cho, C. H.(1978), On the *Gonyaulax* red tide in Jinhae bay, *Bull. Korean Fish. Soc.*, Vol. 11, No. 2, pp. 111-114.
- [9] Cho, C. H.(1979), Mass mortality of oyster due to red tide in Jinhae Bay in 1978, *Bull. Kor. Fish. Soc.*, Vol. 12, No. 1, pp. 27-33.
- [10] Cho, K. J., M. Y. Choi, S. K. Kook, S. H. Im, D. Y. Kim, J. G. Park and Y. E. Kim(1998), Eutrophication and Seasonal variation of water quality in Masan-Jingae Bay, *The Sea. J. of the Korean Society of Oceanography*, Vol. 3, No. 4, pp. 193-202.
- [11] Choi, M. Y., S. K. Kwak, and K. J. Cho(2000), Algal bloom and distribution of *Prorocentrum* population in Masan-Jingae Bay, *Korean J. Environ. Biol*, Vol. 18, No. 4, pp. 447-456.
- [12] Graham, L. E., J. M. Graham and L. W. Wilcox(1998), *ALGAE* second edition, PEARSON Education, p. 616.
- [13] Han, M. S., K. Furuya and T. Nemoto(1992), Species specific productivity of *Skeletonema costatum* in the inner part of Tokyo Bay, *Mar.Ecol.Prog.Ser.*, Vol. 79, pp. 267-273.
- [14] Han, M. S., S. W. Kim and Y. O. Kim(1991), Influence of discontinuous layer on plankton community structure and distribution in Masan Bay, Korea, *Bull. Korean Fish. Soc.*, Vol. 24, pp. 459-471.
- [15] Hasle, G. R.(1975), Some living marine species of diatom family Rhizosoleniaceae, *Beigefz zur Nova Hedwigia*, Vol. 53, p. 114.
- [16] Kim, H. G.(2005), *Harmful algal Blooms in the sea*, Dasom Publishing Co., p. 467.
- [17] Kim, J. K.(1989), Numerical model of dynamics of phytoplankton community in Masan bay, Korea, Department of Biology, Graduate School Hanyang University, Korea. p. 109.
- [18] Kim, J. G., C. K. Park and S. G. Shin(1995), The eutrophication modelling for Jinhae Bay in summer - Simulation of phytoplankton distribution by ecosystem model, *J. of the Korean Environmental Sciences Society*, Vol. 3, pp. 185-195.
- [19] Lee, J. H., M. Y. Han and H. T. Huh(1981), Studies on the causative organisms of red tide in the Jinhae Bay, *Bulletin of KORDI*, Vol. 3, pp. 97-105.
- [20] Lee, P. Y.(1993), Occurrence and Seasonal Variation of Oxygen-Deficient Watermass in Wonmun Bay. *Bull. Korean Fish. Soc.*, Vol. 26, No. 4, pp. 392-400.
- [21] Lee, Y. S.(2002), Aninfluence of inflowing freshwater on the diatom blooms in the Eastern Coast of Dolsan, Yosu, Korea, *J. KSESS*, Vol. 24, No. 3, pp. 477-488.
- [22] Nybakken, J. W.(1993), *Marine biology-An ecological approach*-(3rd edition), Harper Collins Coll, Pub., New York, p. 595.
- [23] Park, J. G., H. J. Hur, D. W. COATS, W. H. Yih and N. Ha(2007), Eudoparasitic dinoflagellates, Amoebozoa spp. and their host dinoflagellates in Jinhae Bay, Korea, *J. Kor. Soc. of Oceanogr*, Vol. 12, No. 4, pp. 359-369.
- [24] Park, J. G., S. H. Huh and H. J. Jeong(2001), Phytoplankton in Chinhae Bay : I. Photosynthetic Properties and Primary Production in Variant Light Environments, *ALGAE*, Vol. 16, pp. 189-196.
- [25] Park, J. S.(1980), Studies on seasonal changes in population and species composition of phytoplankton and their effects on oysters and local fishery resources as food organisms and as a cause of red tide in the South Coast of Korea, *Bull. Fish. Res. Vol. 23*, pp. 7-157.
- [26] Park, J. S.(1982), Studies on the characteristics of red tide and environmental conditions in Jinhae Bay, *Bull. Fish. Res. Vol. 28*, pp. 55-88
- [27] Park, J. S. and S. G. Lee(1990), Distribution and Species Composition of Phytoplankton in the Southern Waters of Korea and their Relation to the Character of Water Masses, *Korean Fish. Soc.*, Vol. 23, No. 3, pp. 208-214.
- [28] Parsons, R. R., M. Takahashi and B. Hargrave(1984), *Biological oceanographic process*, 3rd ed., Pergamon Press, pp. 143-157.
- [29] Redfield, A. C., B. H. Ketchum and F. A. Richards(1963), The influence of organisms on the composition of seawater, *The sea. John Wiley. New York*, Vol. 2, pp. 26-77.
- [30] Robichaux, R. J., Q. Dortch and J. H. Wrenn(1998), Occurrence of *Gymnodinium sanguineum* in Louisiana and Texas coastal waters, 1989-1994, NOAA Technical Report NMFS, Vol. 143, pp. 19-26.
- [31] Ryther, J. G. and W. M. Dunstan(1971), nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal environment, *Science*, Vol. 171, pp. 1008-1013.
- [32] Wu, J. T., and T. L. Chou(2003), Silicate as the limiting nutrient for phytoplankton in a subtropical eutrophic estuary

- of Taiwan, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, Vol. 58, pp. 155-162.
- [33] Wu, Y., C. Zhou, Y. Zhang, X. Pu and W. Li(2000), Evolution and causes of formation of *Gymnodinium sanguineum* bloom in Yantai Sishili Bay, *Oceanol. Limnol. Sin. Haiyang. Yu Huzhao.* Vol. 32, pp. 159-167.
- [34] Yeo, H. G. and M. O. Park(1997), Seasonal variations of phytoplankton community and water quality in the East Area of Chinhae Bay, *J. Kor. Environ. Soc.*, Vol. 6, No. 3, pp. 231-238.
- [35] Yoo, K. H. and J. W. Lee(1976), Environmental studies on Masan Bay 2. Annual cycle of phytoplankton, *The Journal of the Oceanological Society of Korea*, Vol. 11, No. 1, pp. 34-38.
- [36] Yoo, K. I. and J. H. Lee(1979), Environmental studies of the Jungae Bay. 1. Annual cycle of phytoplankton population, 1976-1978, *J. Oceanol. Soc. Kor.*, Vol. 14, pp. 26-31.
- [37] Yoo, K. I. and J. H. Lee(1980), Environmental studies of the Jungae Bay. 2. Environmental parameters in relation to phytoplankton population dynamics, *J. Oceanol. Soc. Kor.*, Vol. 15, pp. 62-65.
- [38] Yoo, M. H., T. Y. Song, E. S. Kim and K. J. Choi(2007), The characteristics on the spital and temporal distribution of phytoplankton in the Western Jinhae Bay, Korea, *The Sea. J. Lor. Soc. Oceanogr.*, Vol. 12, No. 4, pp. 305-314.
- [39] Yoon, Y. H., H. K. Rho and Y. K. Kim(1992), Seasonal succession of phytoplankton population in the Hamdok Port, Northern Cheju Island, *Cheju Nat. Univ.*, Vol. 16, pp. 27-42.
- [40] Yoon, Y. H.(1995), Seasonal dynamics of phytoplankton community and red tide organisms in the Northern Kamak Bay, Southern Korea., *Yosu Nat'l Fish. Univ.*, Vol. 4, pp. 1-15.
- [41] Yoon, Y. H. and N. P. Koh(1995), Studies on the environmental characteristics of the breeding ground in the Kogum-sudo, southern part of Korean peninsula 1. Seasonal succession of phytoplankton population, *Journal of Aquaculture*, Vol. 8, No. 1, pp. 1-15.
- [42] Yoon, Y. H.(1999), The characteristics on the spatio-temporal distributions of phytoplankton communities in Deukryang Bay, Southwestern Korea, *Korean J. Environ. Bilo.*, Vol. 17, No. 4, pp. 481-492.
- [43] Yoon, Y. Y., H. S. Cho, I. H. Choi, M. O. Lee, I. H. Park, S. Hiroishi and T. Otake(2001), A characteristics of marine environment and phytoplankton community in the Western Junhae Bay, *Korean Association of Ocence and Technology Societies*, Vol. 2001, pp. 291-297.
- [44] Zingone, A., R. Casotti, M. R. Dalcala, M. Scardi, and D. Marino(1995), St-Martins summer: thecae of and autumn phytoplankton bloom in the Gulf of Naples (Mediterranean Sea), *J. Plankton Research*, Vol. 17, pp. 575-593.

원고접수일 : 2012년 10월 15일

원고수정일 : 2012년 11월 23일 (1차)

2012년 12월 12일 (2차)

게재확정일 : 2012년 12월 27일