

ORIGINAL ARTICLE

## 행암만 해양환경요인과 플랑크톤 군집구조의 변동

김정배 · 홍석진 · 이원찬 · 김형철 · 이용우<sup>1)\*</sup> · 윤석현<sup>2)</sup> · 조윤식

국립수산과학원 어장환경과, <sup>1)</sup>해양환경관리공단 해양수질팀, <sup>2)</sup>국립수산과학원 수산해양종합정보과

### Plankton Community Composition Related to Marine Environmental Factors in Haengam Bay

Jeong Bae Kim, Sokjin Hong, Won-Chan Lee, Hyung Chul Kim, Yong-Woo Lee<sup>1)\*</sup>,  
Seok-Hyun Youn<sup>2)</sup>, Yoonsik Cho

Marine Environment Research Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

<sup>1)</sup>Marine Environment Monitoring Team, Korea Marine Environment Management Corporation, Busan 606-806, Korea

<sup>2)</sup>Fishery & Ocean Information Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

#### Abstract

We analyzed with HPLC (High Performance Liquid Chromatography) analysis photosynthetic pigments and environmental factors, microscopic observations of the phytoplankton and zooplankton in the seawater every month from February 2009 to November 2010 in Haengam Bay. The level of dissolved inorganic nutrients was the highest between July and September, when freshwater influx was at its peak, whereas chlorophyll *a* levels were the highest in April and August. Also, phytoplankton pigment concentration increased when dissolved inorganic nutrients are carried into nearshore waters by rainfall runoff. Based on identification of phytoplankton and photosynthetic pigments results, diatoms were mainly dominant while dinoflagellate populations increased at July and August 2009, May 2010. The zooplankton communities are dominated in terms of *Noctiluca scintillans*. The contribution of *Noctiluca scintillans* in 2010 accounts for approximately 77.3% of the total zooplankton. Distribution patterns over time of zooplankton in the seasonal distribution of phytoplankton showed a different pattern.

**Key words** : Haengam Bay, Phytoplankton, Zooplankton, HPLC, Nutrient, *Noctiluca scintillans*

#### 1. 서론

최근 산업활동의 증가와 거주 인구의 증가로 인하여 연안 및 폐쇄된 내만은 급격한 해양환경 및 해양생태계의 변화를 초래하고 있다(Paerl 등, 2003). 특히, 육상으

로부터 공급되는 영양염류의 총량과 조성의 변화는 해양생태계 구성의 기초가 되는 식물플랑크톤의 생체량과 군집구조에 영향을 미치게 되고, 이로 인하여 동물플랑크톤의 분포에도 영향을 미친다(Parson 등, 1984).

행암만은 마산만 특별관리해역에 속하는 반폐쇄성

Received 29 August, 2014; Revised 17 November, 2014;

Accepted 11 December, 2014

\*Corresponding author : Yong-Woo Lee, Marine Environment Monitoring Team, Korea Marine Environment Management Corporation, Busan 606-806, Korea

Phone: +82-51-400-7741

E-mail: wbluese@koem.or.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.

내만으로 가덕수로를 통하여 해수순환이 부분적으로 이루어지고 있으며, 1970년대 이후 대규모 자유무역과 산업단지들이 들어서면서 오염부하량이 계속적으로 증가되어왔다. 따라서 행암만은 인위적인 오염물질의 지속적인 공급으로 해양오염 뿐만 아니라 적조발생 및 빈산소수괴와 같은 부차적인 해양환경변화가 빈번하게 일어나고 있다(Lee와 Min, 1990; Yim 등, 2005; Yoo, 1991).

행암만 및 인근 마산만으로 공급되는 오염물질은 주로 하천 또는 해양방류구, 퇴적물로부터의 용출에 의해서 공급되는 것으로 알려져 있다. 행암만 및 마산만 내 유해성적조는 단일종 또는 혼합종들에서 의해서 1980년대까지는 주로 여름(7, 8월)에 집중되었으나, 최근에는 매년 3월부터 11월까지 발생하고 있다(Cho 등, 1998; Kim과 Shin, 1997; Kwak 등, 2001). 또한 적조 발생 후 사멸하고 사체가 분해되는 과정에서 빈산소수괴를 더욱 심화시키고 있다(NFRDI, 2009).

마산만 내에서 식물플랑크톤 종조성에 대한 연구는 주로 현미경 관찰을 통한 주요 적조종들의 분포와 발생 시기에 대한 조사를 실시하였다. Choi 등(2000)은 마산진해만에서 *Prorocentrum* 개체군에 대한 발생 및 분포 양상에 대해서 보고하였으며, Kwak 등(2001)은 적조발생의 빈도와 규모에 대해서 조사하였다. Park(1975)은 행암만에서 해수 중 총질소의 농도는 마산만에 비해 상대적으로 낮게 나타났으며, 인산염의 경우는 높았다고 보고하였다. 마산만과 행암만은 서로 인접해 있지만 해양환경 상태는 서로 다른 양상을 보였다. 대부분의 연구들이 마산만 내에서 해양환경 및 플랑크톤의 군집구조의 변화에 대한 많은 연구들이 진행되어 왔고, 행암만 내에서의 해양환경 변화에 따른 플랑크톤의 군집조성과 관련된 연구는 매우 부족한 실정이다.

이 연구에서는 인위적 오염원들로부터 위협을 받고 있는 행암만 내에서 해양환경요인들의 월별 변화 양상을 파악하고, 식물플랑크톤의 광합성색소 분석 및 식물·동물플랑크톤의 현미경 관찰을 통하여 해양환경요인의 변화에 따른 해수 내에 존재하는 식물·동물플랑크톤 군집조성의 시공간적인 변화 양상을 살펴보았다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 현장조사 및 시료분석

행암만 내에서 해양환경변화에 따른 식물플랑크톤 군집조성의 변화양상을 살펴보기 위해서 행암만 내측으로부터 외측으로 3개 정점을 선정하여 2009년 2월부터 2010년 11월까지 매월 현장조사를 실시하였다(Fig. 1). 조사정점에서 측정된 평균 수심은 각각 6.5 m(정점 1), 9.0 m(정점 2), 10.7 m(정점 3)로 만 내측에서 외측으로 갈수록 증가하였다. 수온, 염분, 용존산소(DO) 및 pH는 다기능 수질측정기(YSI 6920, YSI Inc., USA)를 이용하여 현장에서 측정하였다. 또한, 조사기간 동안의 월별 강수량은 창원기상대 자료를 이용하였다. 해수 중 영양염류, 화학적산소요구량(COD), 부유입자물질(SPM), 입자유기물질(POM), 광합성색소 분석을 위한 해수시료는 표층과 저층에서 각각 채수 하였다. 영양염 분석을 위한 시료는 450 °C에서 4시간 동안 미리 회화시킨 GF/F 여과지를 이용하여 여과하였다. 해수 중 COD는 시료를 알칼리성으로 하여 과망간산칼륨법으로 측정하였다. SPM은 사전에 무게를 측정된 GF/F 여과지(지름 47 mm)에 500 mL의 해수 시료를 여과하고, 건조기(105 °C)에서 24시간 동안 건조한 후 여과 전후의 무게 차를 이용하여 계산하였다. POM은 SPM을 구하기 위

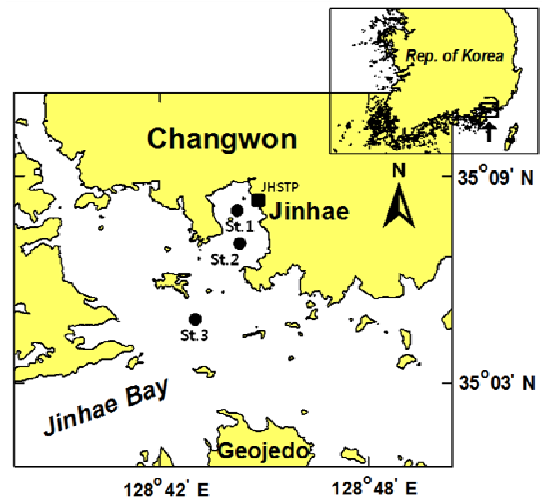


Fig. 1. A map showing the sampling locations in Haengam Bay. The square represents the location of the Jinhsewage Treatment Plant (JHSTP).

하여 무게를 측정된 여과지를 550 °C에서 5시간 회화한 후 무게 차를 이용하여 계산하였다. 해수 중 암모니아질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), 질산질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), 아질산질소(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), 인산인(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)과 규산규소(Si(OH)<sub>4</sub>)는 영양염 자동분석기(Bran+Luebbe, Quattro, Germany)를 이용하여 측정하였다. 광합성색소 분석을 위한 시료는 47 mm GF/F 여과지에 500 mL의 해수를 여과하고, 여과지는 냉동보관하여 실험실로 운반하였다.

### 2.2. 광합성색소 분석

해수 중 식물플랑크톤의 광합성색소 분석을 위하여 여과지는 10 mL culture tube에 넣고 100% acetone 5 mL와 내부표준물질 canthaxanthin 50 µL 첨가하여 -20 °C의 냉암소에서 24시간 이내로 추출하였으며(Jeffrey, 1997; Wright 등, 1991), 추출 기간 중 분쇄기를 이용하여 여과지를 분쇄하고 초음파 분쇄를 5분 동안 실시한 후 2,000 rpm에서 10분 동안 원심 분리하여 상등액 1 mL와 300 µL의 HPLC grade water와 잘 혼합 후 HPLC(waters 2690, Waters Co. system, USA) 100 µL loop에 주입하여 분석하였다.

표준색소는 chlorophyll *a*, *b*, *c*, phaeophytin *a*와 보조색소인 carotenoid 9종(fucoanthin, 19'-hexanoyloxy-fucoanthin, lutein, alloxanthin, prasinoxanthin, peridinin, 19'-butanoyloxy-fucoanthin, zeaxanthin, violaxanthin)을 이용하였다. 색소분석을 위한 용매 system은 Park과 Park(1997)의 방법을 따랐다.

### 2.3. 식물과 동물플랑크톤 분석

식물플랑크톤은 Niskin 채수기를 이용하여 표층과 저층의 해수 1 L를 채수 한 후 루골 용액으로 고정하였다(UNESCO, 1978). 고정된 시료는 실험실에서 최소 48시간 정체시켜 최종농도 20 mL로 농축한 후 Sedgewick-Rafter Chamber 계수판에 일정량의 시료를 올린 후 광학현미경(BX40, Olympus, Japan)을 이용하여 200-400 배율하에서 계수하였다(Chung and Youn, 2013).

동물플랑크톤은 망구 60 cm, 망목 200 µm의 원추형 네트를 사용하여 1 m sec-1의 속도로 경사 채집하였다. 채집된 시료는 선상에서 증성포르말린을 이용하여 해수를 포함한 용액의 최종농도가 5%가 되도록 고정하였

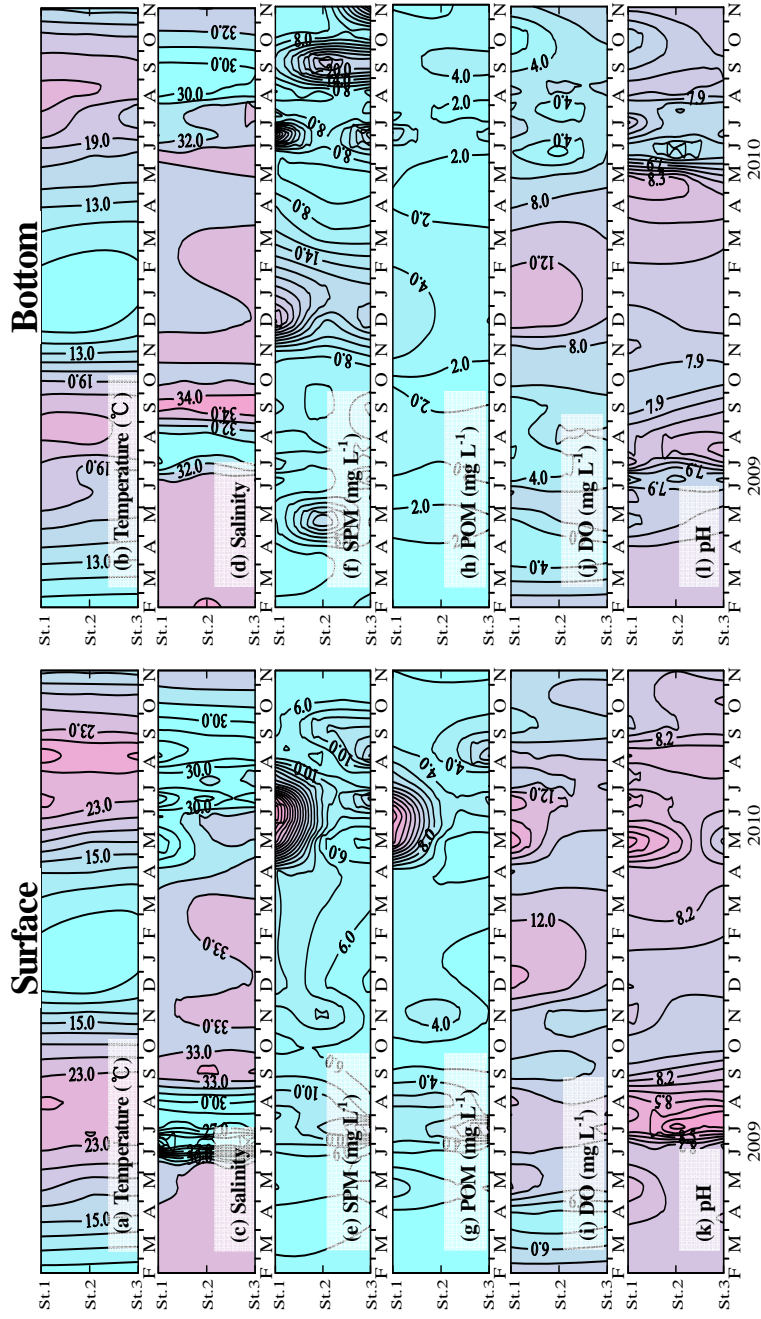
다. 시료의 망구에 flowmeter(General Oceanics)를 부착하여 해수 여과량을 측정하였다. 실험실로 운반된 동물플랑크톤 시료는 Folsom식 분할기를 이용하여 분할한 후, Bogorov 계수판에서 실제현미경(JP/SZH-141, Olympus, Japan) 및 고배율 광학현미경(Eclipse E600, Nikon, Japan)을 이용하여 계수하였다(Youn and Choi, 2008).

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 해양환경요인

2009~2010년 2년간 월별로 측정된 행암만 내 해수 중 해양환경인자의 분포양상을 살펴보았다. 조사기간 중 행암만 내 평균수온은 2009년 2월에 가장 낮았으며(표층: 7.9±0.2 °C, 저층: 7.8±0.1 °C), 2010년 8월 하순에 가장 높게 나타났다(표층: 27.7±0.8 °C, 저층: 23.4±0.3 °C). 겨울에 표층수와 저층수간 수온차는 작았으며 여름인 8월에 약 4 °C로 가장 크게 나타났다. 수온의 수평분포는 여름에 행암만 내부(정점 1, 2)와 외부 정점(정점 3) 사이에 수온차가 컸다(Fig. 2).

표층수 중 염분은 2009년 2월(평균: 33.6±0.1 psu)부터 감소하기 시작하여 강수량 증가로 인한 담수 유입이 많았던 7월 초순(평균: 20.3±0.9 psu)에 가장 낮았다. 2010년에 염분은 조사가 시작된 3월(평균: 33.2±0.1 psu)부터 감소하기 시작하여 7월 초순 및 8월 하순에 강우의 영향으로 낮은 염분값을 보였다. 표층수와 저층수간 염분차는 2009년에는 7월 초순에 집중 호우에 의한 많은 양의 담수 유입으로 약 13 psu 이상의 차이를 보였으나, 2010년에는 7월 초순과 8월 하순에는 상대적으로 염분차(약 2.3-3.6 psu)가 작았다(Fig. 2). 저층수 중 염분의 수평분포는 정점간 차이가 적은 반면 표층수 중에서는 정점별로 상당한 차이를 보였으며, 행암만의 안쪽 정점에서 낮고 바깥쪽으로 갈수록 증가하는 양상을 보였다. 연구해역의 주변 지역에서 측정된 강수량은 2009년 7월에 강수량이 818.6 mm를 기록하였으며, 8월에는 132.4 mm, 9월에는 33.1 mm이었고, 2010년에는 7월, 8월, 9월에 각각 375.6 mm, 214.8 mm, 262.5 mm로 집중호우는 없었으나, 매일 200 mm 이상의 많은 강수량을 보였다.



**Fig. 2.** Horizontal variations in water temperature, salinity, suspended particulate matter (SPM), particulate organic matter (POM), dissolved oxygen (DO), and pH at the surface and bottom seawaters in Haengam Bay from February 2009 to November 2010.

SPM 농도는 표층과 저층에서 각각 평균  $9.25 \pm 3.83$  (범위: 3.27-22.77)  $\text{mg L}^{-1}$ ,  $8.92 \pm 2.72$  (범위: 4.10-21.43)  $\text{mg L}^{-1}$ 였다(Fig. 2). SPM 농도는 대체로 여름에 높게 나타났으며, 특히 2010년 5월과 7월 사이에 정점 1에서 가장 높게 나타났다.

POM 농도는 표층에서 평균  $4.32 \pm 2.24$  (범위: 0.47-11.83)  $\text{mg L}^{-1}$ 였고 저층에서 평균  $2.41 \pm 0.60$  (범위: 0.67-5.60)  $\text{mg L}^{-1}$ 였다(Fig. 2). POM 농도는 SPM과 유사한 시공간적 분포를 보였다.

DO 농도는 표층수와 저층수에서 각각 평균  $9.58 \pm 0.98$  (범위: 3.06-13.43)  $\text{mg L}^{-1}$ ,  $5.98 \pm 1.03$  (범위: 2.44-12.04)  $\text{mg L}^{-1}$ 로 저층수에서 표층수 보다 약 1.6배 낮았으며, 저층수 중 DO 농도는 6-7월 이후 급격히 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 2). 2009년에  $2 \text{ mg L}^{-1}$  이하의 저층 빈산소수괴는 8월 초순 정점 1에서 나타났다. 2010년에는 6월 및 8월 초순에 정점 2에서 나타났고, 10월에는 정점 1에서  $0.34 \text{ mg L}^{-1}$ 의 값을 가지는 무산소 상태를 보여, 연별 및 월별 행암만 내 빈산소수괴 발생 시기는 다르게 나타났다. 또한 표층수 중 POM 농도가 높았던 2010년 5-7월 사이에 DO 농도가 10.89-18.07  $\text{mg L}^{-1}$  범위였고, DO 포화도가 150-235%로 과포화 상태였다. 이러한 현상은 표층에서 식물플랑크톤의 활발한 광합성 작용으로 인하여 해수 중 DO가 과포화 된 것으로 추정된다(Kim 등, 2012).

표층수와 저층수 중 pH는 각각 평균  $8.24 \pm 0.07$  (범위: 7.94-8.74),  $7.99 \pm 0.07$  (범위: 7.50-8.27)였다. 표층수 중 pH는 DO가 높은 시기에 높았으며, 저층수 중 pH는 DO 농도가 감소하는 여름에 상대적으로 낮게 나타났다(Fig. 2).

COD는 표층의 경우 평균  $1.96 \pm 0.59$  (범위: 0.53-3.92)  $\text{mg L}^{-1}$ 였고, 저층의 경우  $1.23 \pm 0.25$  (범위: 0.39-2.43)  $\text{mg L}^{-1}$ 로 표층보다 저층에서 낮았으며 대체로 만안쪽 정점에서 높고 바깥쪽으로 갈수록 낮았다(Fig. 3).

표층수 중  $\text{NH}_4^+$ 의 평균 농도는  $5.56 \pm 4.40$  (범위: 0.13-23.11)  $\mu\text{M}$ , 저층수 중 평균 농도는  $4.20 \pm 1.73$  (범위: 0.07-10.87)  $\mu\text{M}$ 였으며, 2010년 4월과 7-8월 사이에 표층수에서 가장 높게 나타났다(Fig. 3). 표층수와 저층수에서  $\text{NO}_2^-$ 의 평균 농도는 각각  $0.58 \pm 0.41$  (범위: 0.01-3.03)  $\mu\text{M}$ ,  $0.42 \pm 0.13$  (범위: 0.04-1.69)  $\mu\text{M}$ 였다(Fig. 3).  $\text{NO}_3^-$ 의 표층수 중 평균 농도는  $4.47 \pm 2.43$  (범위: 0.08-27.17)  $\mu\text{M}$ , 저층수 중 평균 농도는  $2.45 \pm 0.94$  (범위: 0.34-8.07)  $\mu\text{M}$ 로 담수의 유입이 많았던 2009년 7월 초에 가장 높았다(Fig. 3). 2009년과 2010년 8월 정점 1의 용존무기질소( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ 의 합) 농도는 각각 15.9  $\mu\text{M}$ , 110.7  $\mu\text{M}$ 로 상당히 높은 값을 보였다. 2010년 8월에는 행암만 바깥쪽에 위치한 정점 3에서도 용존무기질소 농도가 62.1  $\mu\text{M}$ 로 높게 나타났다. Sohn 등(2000)에 의해서 행암만 내에서 1996년 6월부터 12월까지 조사한 결과에서도 용존무기질소 농도는 14.3-613.3  $\mu\text{M}$  범위였으며, 집중강우로 염분이 낮았던 6월에 가장 높은 농도(613.3  $\mu\text{M}$ )를 보였다. 물리화학적 인 요인들간 상관관계 분석결과, 용존무기영양염은 강수량과 밀접한 상관관계가 있는 것으로 보고하였다.  $\text{PO}_4^{3-}$ 의 경우 표층과 저층에서 각각 평균 농도는  $1.22 \pm 0.75$  (범위: 0.07-4.90)  $\mu\text{M}$ ,  $1.07 \pm 0.35$  (범위: 0.10-3.80)  $\mu\text{M}$ 였고,  $\text{Si}(\text{OH})_4$ 의 경우 표층에서는  $24.50 \pm 8.22$  (범위: 1.79-85.22)  $\mu\text{M}$ , 저층에서는  $27.29 \pm 7.51$  (범위: 4.67-72.45)  $\mu\text{M}$ 였다(Fig. 3). 용존무기영양염류는 2010년 8월의 정점 3을 제외하고, 담수의 유입이 많은 여름에 대체적으로 표층수에서 높았으며, 만의 바깥쪽에 비해 만의 안쪽에서 높은 값을 보였다. 용존무기질소의 월별 분포 양상을 살펴보면 집중강우로 염분이 낮았던 2009년 7월에 해양으로 공급된 용존무기질소는 대부분  $\text{NO}_3^-$  형태로 존재하였으며(Sohn, 2000), 이 시기에  $\text{PO}_4^{3-}$ 과  $\text{Si}(\text{OH})_4$  역시 상당한 양이 유입되었다.

3.2. 식물플랑크톤 월별 생체량 변화

해수 중 해양환경 변화(광량, 영양염류, 염분, 물리적 요인 등)는 식물플랑크톤의 생체량과 군집조성에 직접적인 영향을 미친다(Reid 등, 1990). 조사 전 기간동안 표층수 중 chlorophyll *a*의 평균 농도는  $11.37 \pm 6.20 \mu\text{g L}^{-1}$ 였으며, 월별 평균 농도는 2010년 5월에  $52.45 \pm 61.05 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 높고, 2009년 6월에  $0.06 \pm 0.05 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 낮았다. 저층수의 chlorophyll *a* 평균 농도는  $6.27 \pm 2.58 \mu\text{g L}^{-1}$ 였으며, 월별 평균 농도는 2010년 3월에  $28.93 \pm 12.39 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 높고, 2009년 4월에  $0.15 \pm 0.06 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 가장 낮았다. Son 등(2012)에 의하면 춘계와 하계 행암만에서 조사된 chlorophyll *a* 농도는 춘계(5월 초순)에 표층  $15.0 \mu\text{g L}^{-1}$ , 저층  $13.1 \mu\text{g L}^{-1}$ 로 최고치를 보였고, 하계에 춘계보다 현저히 높았다. 반면 이 연구결과에서는

chlorophyll *a* 농도가 2009년에는 춘계보다 하계에 높았고, 2010년에는 하계보다 춘계( $52.45 \mu\text{g L}^{-1}$ )에 현저히 높은 값을 보여 계절적 변화가 심한 것으로 나타났다 (Fig. 4). 2009년에는 7월초에 해수 중 영양염류가 급격히 증가하였으며, 이시기에 chlorophyll *a* 농도 역시 증가하는 양상을 보였다. 이후 식물플랑크톤의 광합성에 의해 소모되어 용존무기영양염류 농도는 급격하게 감소하는 양상을 보였으며, 재순환되거나 새로 공급된 영양염류를 이용하여 식물플랑크톤 생체량(chlorophyll *a*)은 이후 지속적으로 증가하는 양상을 보였다.

### 3.3. 식물플랑크톤 군집구조

행암만 내 해양환경 변화에 따른 식물플랑크톤 군집구조의 변화 양상을 살펴보기 위해서 식물플랑크톤의 광합성색소 분석을 실시하였다(Figs. 4, 5). 표층수 중 광합성색소 분석결과, 대체로 fucoxanthin 농도가 가장 높았고, 시기에 따라 peridinin(5~8월)의 농도가 높게 나타났으며, alloxanthin, chlorophyll *b*, 19'-butanoyloxy-fucoxanthin, 19'-hexanoyloxy-fucoxanthin, zeaxanthin, violaxanthin, lutein 농도는 대체로  $1 \mu\text{g L}^{-1}$  이하로 상대적으로 낮았다.

조사기간 동안 가장 높은 농도를 보인 규조류(bacillariophyceae)의 주요색소인 fucoxanthin의 농도는  $0.12\text{--}6.37$ (평균:  $2.04 \pm 0.94$ )  $\mu\text{g L}^{-1}$  범위였으며, 2010년 3월과 5월에 가장 높았다. 와편모조류(dinophyceae)의 주요색소인 peridinin의 농도는  $0.31\text{--}30.34$ (평균:  $2.50 \pm 2.38$ )  $\mu\text{g L}^{-1}$  범위로 2009년 7월 하순(평균:  $30.34 \mu\text{g L}^{-1}$ )에 가장 높았으며, 2009년 8월과 2010년 5월에도 높게 나타났다. Chlorophyll *a*( $52.5 \pm 61.1 \mu\text{g L}^{-1}$ ) 농도가 가장 높았던 2010년 5월에는 lutein(chlorophytes), alloxanthin(cryptophyceae), peridinin(dinophyceae), zeaxanthin(cyanophyceae), chlorophyll *b*(green algae 또는 euglenoids), violaxanthin(chrysophyceae) 농도가 높게 나타나 이 시기에 다양한 식물플랑크톤에 의해서 bloom이 형성되었음을 보여준다. 식물플랑크톤 주요색소인 fucoxanthin과 peridinin의 수평분포를 살펴보면, 대체로 만내의 정점에서 바깥쪽으로 감소하는 경향을 보였다. 2009년 7월 중순에는 만 안쪽에 비해 만 바깥쪽 정점(정점 3)에서 상대적으로 높게 나타났다. 이 시기에 영양염 농도 역시 정점 3에서 높았다. 일반적으로 영양

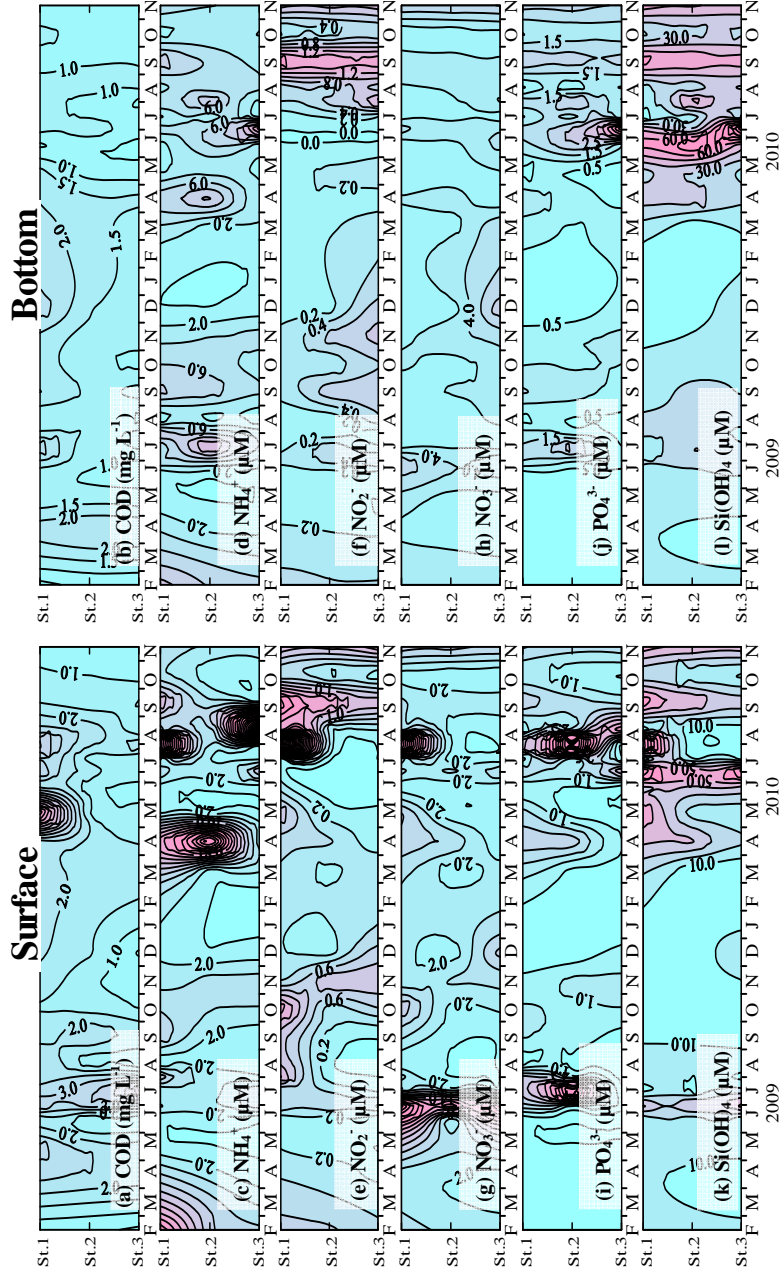
염 농도가 높은 연안에서는 식물플랑크톤 중 경쟁에서 유리한 규조류가 우점하는 양상을 보이거나(Lee 등, 2007), 행암만 내에서는 규조류와 와편모조류가 공존하는 것으로 나타났다.

현미경 관찰을 통한 식물플랑크톤 분류는 2009년에는 4회(2월, 5월, 8월, 11월), 2010년에는 2회(5월, 11월) 실시하였다(Fig. 6). 전 조사기간 동안 조사해역의 표층과 저층에서 출현한 식물플랑크톤은 총 105종이었으며, 규조류(bacillariophyceae)가 28속 68종, 와편모조류(dinophyceae)가 17속 33종, 유글레나조류(euglenophyceae)가 1속 1종, 규질편모조류(dictyochaceae)가 1속 2종, 은편모조류(cryptophyceae)가 1속 1종이었다. 식물플랑크톤 종조성 조사결과, 규조류(64.8%)가 가장 우점하였으며, 다음으로 와편모조류(31.4%), 규질편모조류(1.9%) 순으로 나타났다. 조사 시기별로 출현량을 살펴보면, chlorophyll *a* 농도가 가장 높았던 2009년 11월에는 규조류가  $1,477,100 \text{ cells L}^{-1}$ 로 가장 우점하였으며, 다음으로 은편모조류가  $1,243,700 \text{ cells L}^{-1}$ 로 높은 개체수를 보였다. 2010년 5월에는 규조류가 약  $18,000 \text{ cells L}^{-1}$ 였으며 와편모조류가 18종  $27,721,500 \text{ cells L}^{-1}$ 로 이 시기에는 와편모조류에 의해서 bloom이 형성된 것으로 나타났다. 이러한 결과는 2010년 5월에 와편모조류의 주요색소인 peridinin 농도가 높게 나타난 결과와 일치한다.

2009년 식물플랑크톤 우점종을 조사한 결과, 규조류는 2월에 *Skeletonema costatum*, 5월에는 *Pseudonitzschia* sp., 8월에 *Thalassiosira* sp.와 *Prorocentrum minimum*, 11월에는 *Skeletonema costatum*이 우점하였으며, 2010년에는 5월에 *Coscinodiscus* sp., 11월에 *Chaetoceros curvisetus*이 우점하여 조사 시기별로 종천이가 빠르게 진행되고 있는 것으로 나타났다. 와편모조류가 우점했던 2010년 5월에는 정점 1의 표층에서 *Prorocentrum minimum*이 우점종이었다.

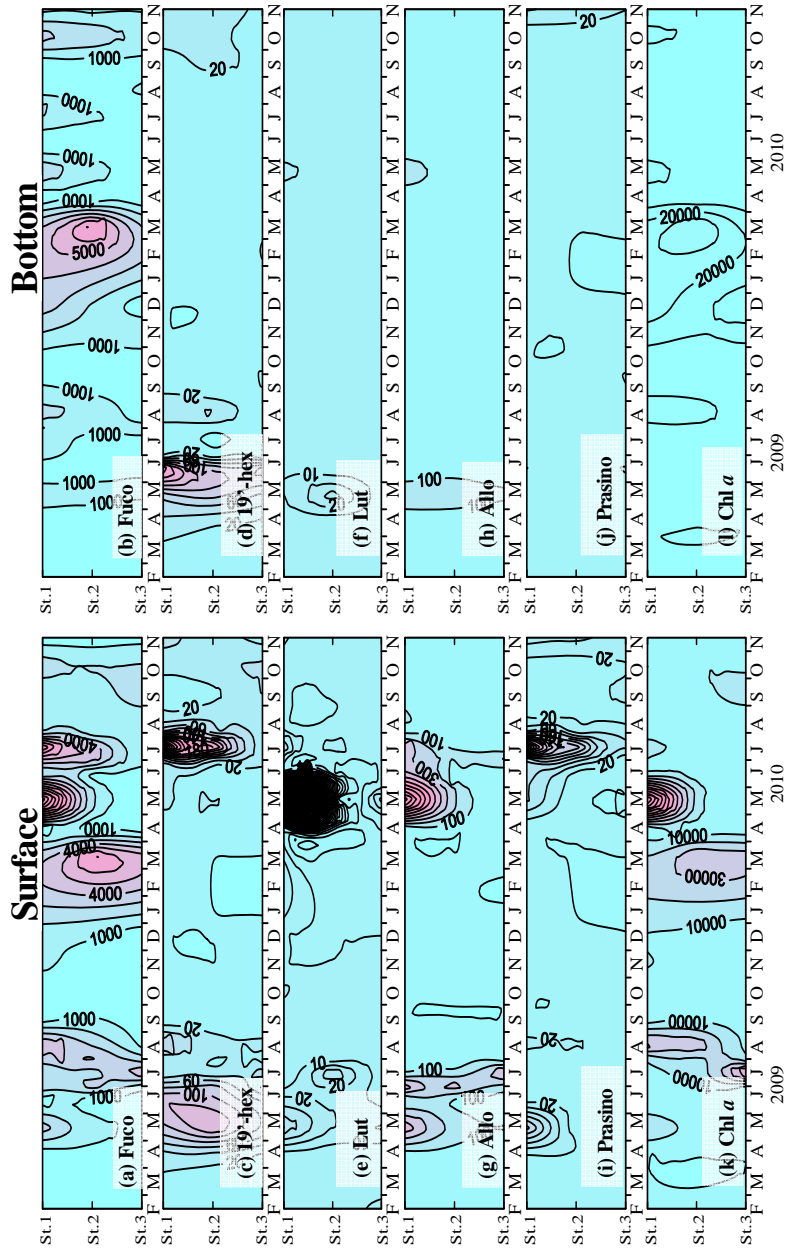
### 3.4. 동물플랑크톤 군집구조

동물플랑크톤 분류는 2009년에는 4회(2월, 5월, 8월, 11월), 2010년에는 3회(5월, 8월, 11월) 실시하였다. 2009년 동물플랑크톤의 평균 출현량은 2월에  $984 \pm 398$  개체  $\text{m}^3$ , 5월에  $101 \pm 66$  개체  $\text{m}^3$ , 8월에  $419 \pm 269$  개체  $\text{m}^3$ ,



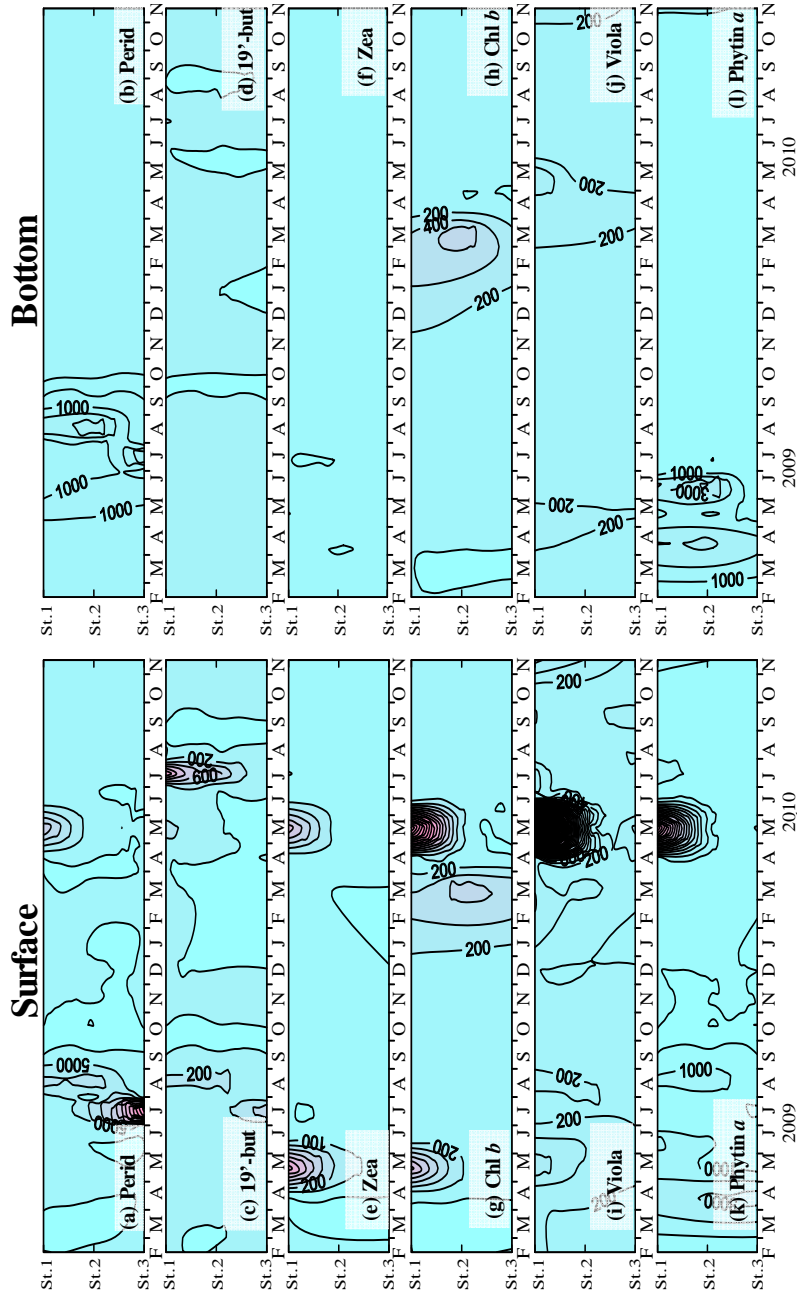
**Fig. 3.** Horizontal variations in chemical oxygen demand (COD) and dissolved inorganic nutrients ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Si(OH)}_4$ ) at the surface and bottom seawaters in Haengam Bay from February 2009 to November 2010.





**Fig. 4.** Horizontal variations in the concentration of each marker pigment ( $\text{ng L}^{-1}$ ) at the surface and bottom seawaters in Haengam Bay from February 2009 to November 2010. Abbreviations: Fuco, Fucoxanthin; 19'-hex, 19'-hexanoyloxy-fucoxanthin; Lut, Lutein; Allo, Alloxanthin; Prasino, Prasinolanthin; Chl *a*, Chlorophyll *a*.





**Fig. 5.** Horizontal variations in the concentration of each marker pigment ( $\text{ng L}^{-1}$ ) at the surface and bottom seawaters in Haengam Bay from February 2009 to November 2010. Abbreviations: Perid, Peridinin; 19'-but, 19'-butanoyloxy-fucoxanthin; Zea, Zeaxanthin; Chl *b*, Chlorophyll *b*; Viola, Violaxanthin; Phytin *a*, Phaeophytin *a*.

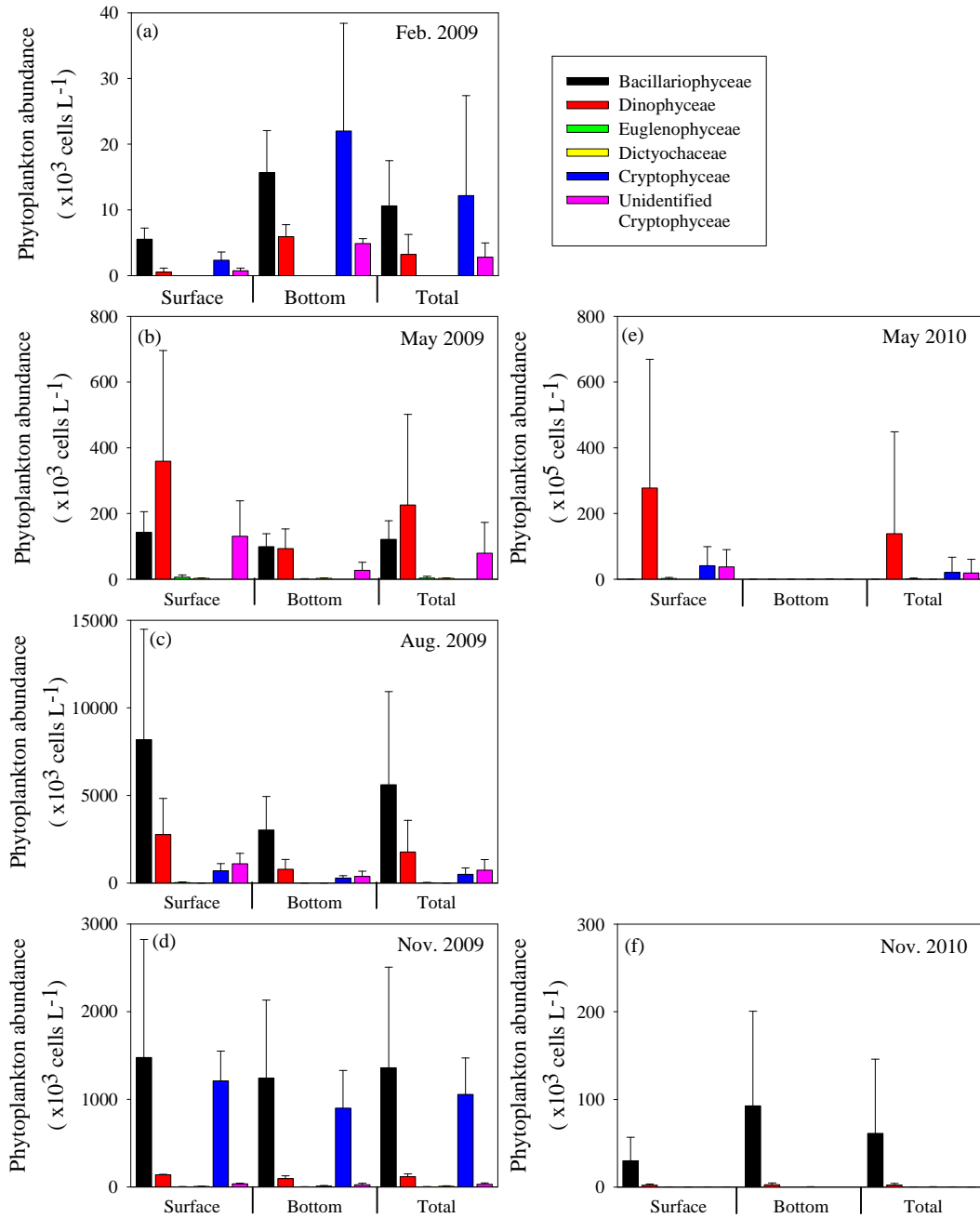


Fig. 6. Seasonal variations in mean individual number of phytoplankton in Haengam Bay in 2009-2010.

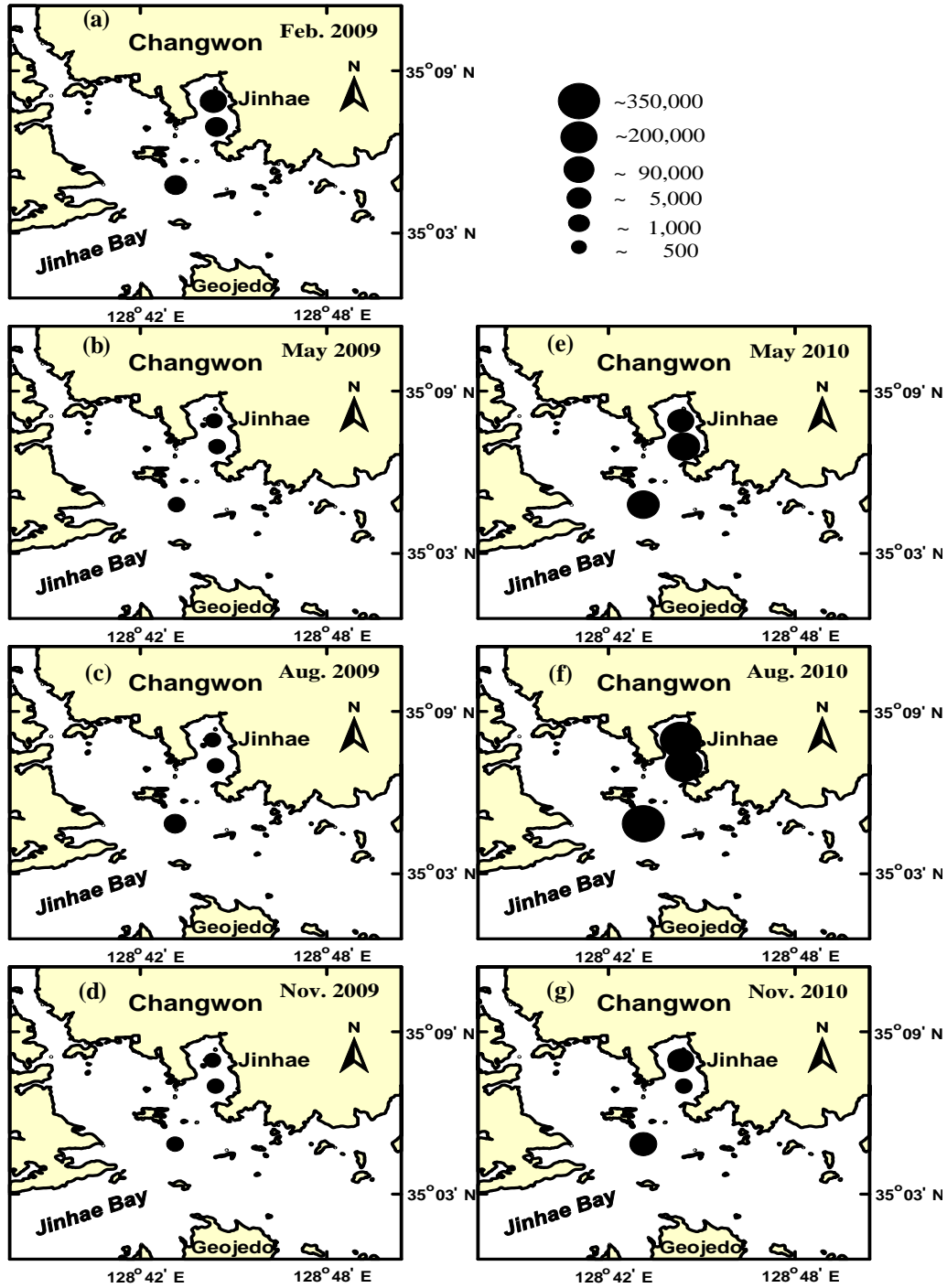


Fig. 7. Seasonal and spatial distribution of total zooplankton individual numbers (indiv. m<sup>-3</sup>) in Haengam Bay in 2009-2010.

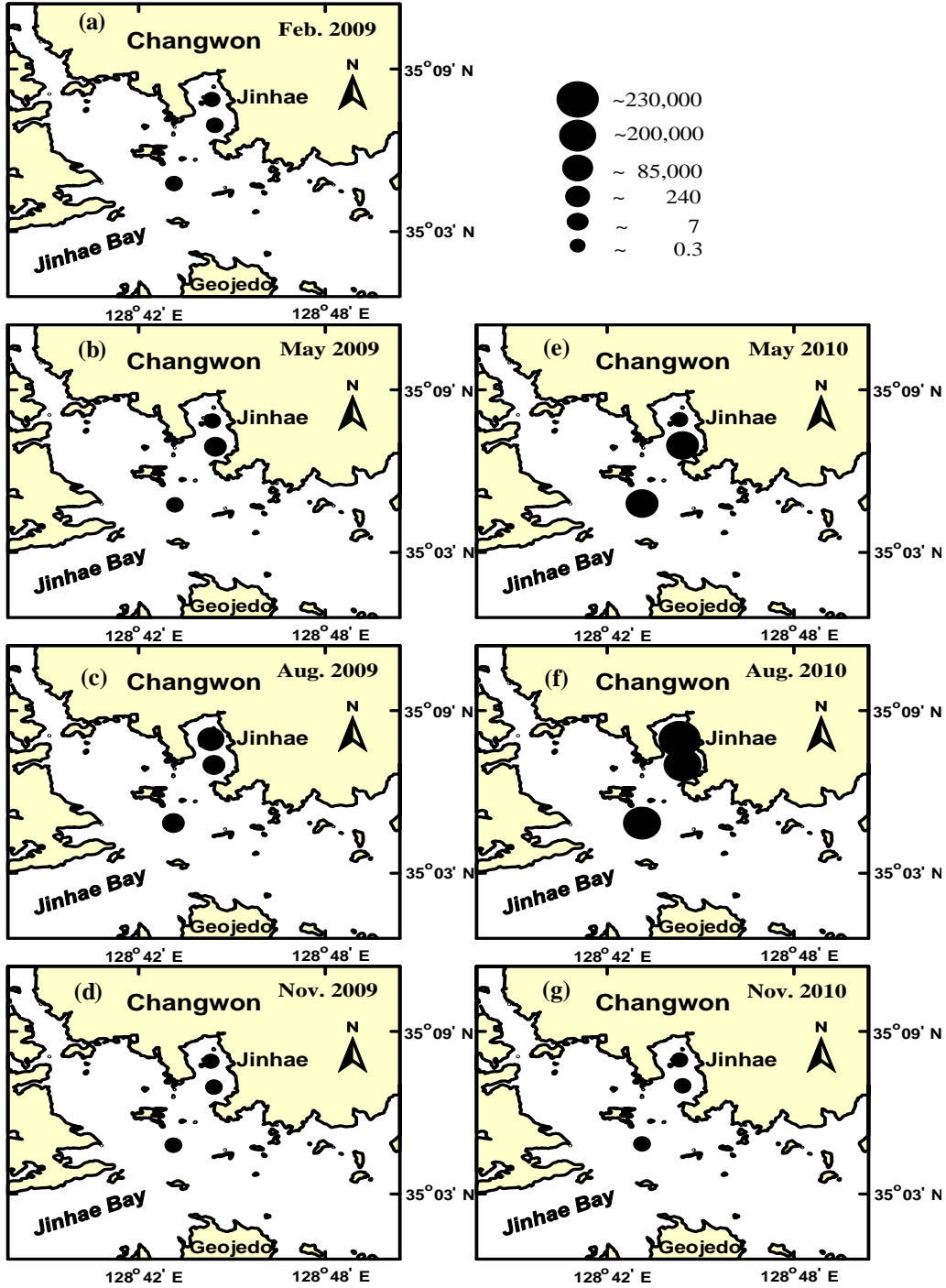


Fig. 8. Seasonal and spatial distribution of *Noctiluca scintillans* individual numbers (indiv. m<sup>-3</sup>) in Haengam Bay in 2009-2010.

11월에 116±86 개체 m<sup>3</sup>로 나타났으며, 2010년에 평균 출현량은 5월, 8월, 11월에 각각 49,996±35,012 개체 m<sup>3</sup>, 237,977±66,649 개체 m<sup>3</sup>, 1,748±996 개체 m<sup>3</sup>였다. 2009년에는 1,000 개체 m<sup>3</sup> 이하였으며, 2010년에는 5월과 8월에 10,000 개체 m<sup>3</sup> 이상으로 2009년에 비해 2010년에 동물플랑크톤의 출현량이 상대적으로 높았다(Fig. 7). 야광충은 2009년 8월에는 정점 1에서 239 개체 m<sup>3</sup>(동물플랑크톤 총 출현량의 70.8%)였으며, 2010년 5월에 정점 2에서 83,422 개체 m<sup>3</sup>(93.6%), 정점 3에서 53,886 개체 m<sup>3</sup>(95.0%) 출현하였다. 8월에는 정점 1에서 221,217 개체 m<sup>3</sup>(총 출현량의 98.0%), 정점 2에서 127,935 개체 m<sup>3</sup>(78.4%), 정점 3에서 185,404 개체 m<sup>3</sup>(57.1%) 출현하여 정점별로 집적현상이 두드러지게 나타났다(Kim, 2012). 야광충의 개체수는 수온이 증가한 2010년 5월과 8월에 높게 나타났다(Fig. 8). 야광충의 계절별 분포 양상은 먹이생물인 식물플랑크톤의 계절별 분포 양상과 유의한 상관관계를 보이지 않았다. Baek 등(2011)에 의해서 진해만과 광양만에서 조사한 결과에서도 야광충과 식물플랑크톤의 분포 양상과 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 해양에서 야광충의 분포는 바람, 조류, 해류 등에 의해서 수평적인 확산 및 집적에 영향을 받는다(Huang과 Qi, 1997). 또한 야광충의 번식은 수온, 염분, 용존산소, 무기영양염 등의 영향을 받으므로, 행암만에서 야광충 개체수의 시공간적 변화는 주요 먹이생물인 식물플랑크톤의 분포 보다는 다른 요인들에 의해서 조절된 것으로 판단된다(Baek 등, 2011; Dela-Cruz 등, 2003; Umani 등, 2004).

야광충은 세포 내에 다량의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>를 함유하고 있으며, 단시간에 형성과 소멸을 반복하면서도 대증식 이후 수주 내에 고농도의 암모니아질소를 공급한다(Montani 등, 1998). 야광충의 개체수가 적었던 2009년에는 월별 정점별 영양염의 변동이 크지 않았으나, 야광충의 대증식이 있었던 2010년 8월 중순에 정점 1의 표층에서 용존무기질소는 111.0 μM(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 51.6 μM, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: 50.4 μM), 8월 하순의 정점 3에서 표층의 용존무기질소는 62.1 μM(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: 61.2 μM)로 높게 나타났다.

#### 4. 결론

행암만 내에서 해양환경요인의 변화에 따른 해수 중

식물과 동물플랑크톤 군집구조의 시공간적 변화 양상을 살펴보기 위해서 2009년 2월부터 2010년 11월까지 매월 HPLC를 이용하여 식물플랑크톤 광합성색소 분석 및 식물과 동물플랑크톤 현미경 관찰을 실시하였다. 용존무기영양염류는 담수의 유입이 많았던 7~9월 사이에 가장 높게 나타났으며, chlorophyll *a* 농도는 4월과 8월에 가장 높았다. 식물플랑크톤의 생체량은 영양염류의 공급이 많은 시기에 대체로 높게 나타났으며, 광합성색소 분석 및 식물플랑크톤 현미경 관찰 결과, 행암만에서는 주로 규조류가 우점하는 것으로 나타났다. 반면 2009년 7월과 8월에, 2010년 5월에는 와편모조류의 개체수가 증가하였다. 동물플랑크톤은 야광충이 우점하였으며 2010년에는 전체 동물플랑크톤의 약 77.3%를 차지하였다. 동물플랑크톤의 시공간적 분포양상은 먹이생물인 식물플랑크톤의 분포와 다른 양상을 보여 동물플랑크톤의 집적현상은 먹이 이외에 다른 요인들에 의해서 더 많은 영향을 받는 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국립수산과학원(RP-2014-ME-029)의 지원에 의해 수행되었습니다.

#### References

Baek, S.H., Shin, H.H., Kim, D.S., Kim, Y.O., 2011, Relationship between distributional characteristics of heterotrophic dinoflagellate *Noctilica scintillans* and environmental factors in Gwangyang Bay and Jinhae Bay, Korean J. Environ. Biol., 29, 81-91.

Cho, K.J., Choi, M.Y., Kwak, S.K., Im, S.H., Kim, D.Y., Park, J.G., Kim, Y.E., 1998, Eutrophication and seasonal variation of water quality in Masan-Jinhae Bay, J. Korean Soc. Oceanogr., 3, 193-202.

Choi, M.Y., Kwak, S.K., Cho, K.J., 2000, Algal bloom and distribution of *Prorocentrum* population in Masan-Jinhae Bay, Korean J. Environ. Biol., 18, 447-456.

Chung, M.H., Youn, S.H., 2013, Temporal and spatial variability of phytoplankton communities in the Nakdong River Estuary and coastal area, 2011-2012, J. Oceanol. Soc. Korea, The Sea, 18, 214-226.

Dela-Cruz, J., Ajani, P., Middleton, H.J., Suthers, M.I.,

- 2003, Population growth and transport of the red tide dinoflagellate *Noctiluca scintillans* in the coastal water off Sydney, Australia, using cell diameter as a tracer, *Limnol. Oceanogr.*, 48, 656-674.
- Huang, C., Qi, Y., 1997, The abundance cycle and influence factors on red tide phenomena of *Noctiluca scintillans* (Dinophyceae) in Dapeng Bay, the South China Sea, *J. Plankton Res.*, 19, 303-318.
- Jeffrey, S.W., 1997, Application of pigment methods to oceanography. In: Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C., Wright, S.W. (eds) *Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods*, UNESCO Publishing, Paris.
- Kim, D.W., 2012, Spatio-temporal distribution of zooplankton community in Masan and Jinhae Bay, M.S. Thesis, Korea Maritime and Ocean Univ., Pusan 67.
- Kim, S.Y., Lee, Y.H., Kim, Y.S., Shim, J.H., Ye, M.J., Jeon, J.W., Hwang, J.R., Jun, S.H., 2012, Characteristics of marine environmental in the hypoxic season at Jinhae bay in 2010, *Korean J. Nature Conservation*, 6, 115-129.
- Kim, C.H., Shin, J.B., 1997, Harmful and toxic red tide algal development and toxins production in Korean coastal waters, *Algae*, 12, 269-276.
- Kwak, S.K., Choi, M.Y., Cho, K.J., 2001, Distribution and occurrence frequency of red-tide causing flagellates in the Masan-Jinhae Bay, *Algae*, 16, 315-323.
- Lee, C.W., Min, B.Y., 1990, Pollution in Masan Bay, a matter of concern in South Korea, *Mar. Pollut. Bull.*, 21, 226-229.
- Lee, Y.W., Kim, G., 2007, Linking groundwater-borne nutrients and dinoflagellate red-tide outbreaks in the southern sea of Korea using a Ra tracer, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 71, 309-317.
- Montani, S., Pithakpol, S., Tada, K., 1998, Nutrient regeneration in coastal sea by *Noctiluca scintillans*, a red tide causing dinoflagellate, *J. Mar. Biotechnol.*, 6, 224-228.
- NFRDI, 2009, Hypoxia in the coast of Korea, 173.
- Paerl, H.W., Valdes, L.M., Pinckney, J.L., Piehler, M.F., Dyble, J., Moisander, P.H., 2003, Phytoplankton photopigments as indicators of estuarine and coastal eutrophication, *BioScience*, 53, 953-964.
- Park, C.K., 1975, Eutrophication and chlorophyll content in the seawater of Jinhae Bay area, *Bull. Korean Fish. Soc.*, 8, 121-126.
- Park, M.O., Park, J.S., 1997, HPLC method for the analysis of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton, *J. Oceanol. Soc. Korea*, 32, 46-55.
- Parson, T.R., Takahashi, M., Hargrave, B., 1984, *Biological oceanographic processes*, Pergamon Press, 678.
- Reid, P.C., Lancelot, C., Gieskes, W.W.C., Hagmeier, E., Weichert, G., 1990, *Phytoplankton of the North Sea and its dynamics: a review*, *Neth. J. Sea Res.*, 26, 295-331.
- Sohn, J.H., Ahn, T.Y., Kim, S.J., 2000, Environmental factors affecting distribution of heterotrophic bacteria and chlorophyll a content in the water column of Masan and Haengam Bays, Korea, *J. Korean Soc. Marine. Environmental Engineering*, 3, 65-75.
- Son, M., Hyun, B.G., Kim, D.S., Choi, H.W., Kim, Y.O., Baek, S.H., 2012, The correlation between environmental factors and phytoplankton communities in spring and summer stratified water-column at Jinhae Bay, Korea, *Korean J. Environ. Biol.*, 30, 219-230.
- Umani, S.F., Beran, A., Parlato, S., Virgilio, D., Zollet, T., Olazabal, A.D., Lazzarini, B., Cabrini, M., 2004, *Noctiluca scintillans* Macartney in the Northern Adriatic Sea: long-term dynamics, relationships with temperature and eutrophication, and role in the food web, *J. Plankton Res.*, 26, 545-561.
- UNESCO, 1978, *Phytoplankton manual*, UNESCO, UK, 337.
- Wright, S.W., Jeffrey, S.W., Mantoura, R.F.C., Llewellyn, C.A., Bjørnland, T., Repeta, D., Welschmeyer, N., 1991, Improved HPLC method for the analysis of chlorophylls and carotenoids from marine phytoplankton, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 77, 183-196.
- Yim, U.H., Hong, S.H., Shim, W.J., Oh, J.R., Chang, M., 2005, Spatio-temporal distribution and characteristics of PAHs in sediments from Masan Bay, Korea, *Mar. Pollut. Bull.*, 50, 319-326.
- Yoo, K.I., 1991, Population dynamics of dinoflagellate community in Masan Bay with a note on the impact of environmental parameters, *Mar. Pollut. Bull.*, 23, 185-188.
- Youn, S.H., Choi, J.K., 2008, Distribution pattern of zooplankton in the Han River Estuary with respect to tidal cycle, *Ocean Sci J*, 43, 135-146.