

## 경기만 동물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포

윤석현 · 최중기  
인하대학교 해양과학과

### Spatio-Temporal Distribution of Zooplankton Community in Kyeonggi Bay, Yellow Sea

SEOK-HYUN YOUN AND JOONG-KI CHOI  
Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

본 연구는 경기만 동물플랑크톤 군집의 시공간적 분포 특성을 파악하기 위하여 2001년 2월부터 2001년 12월까지 인천 연안에서 선갑도에 이르는 수역에서 5개 정점을 대상으로 월별 조사가 실시되었다. 연구 기간중 출현한 동물플랑크톤 개체수는 월평균 1,100~404,200 indiv./m<sup>3</sup>의 범위로 2월에 가장 적은 개체수가 출현하였고 8월에 가장 많은 개체수가 출현하였으며 연구 기간 평균 개체수는 55,000 indiv./m<sup>3</sup>였다. 정점별 평균 개체수는 인천 연안 수역에서 114,600 indiv./m<sup>3</sup>로 가장 많았고 외해쪽으로 갈수록 감소하여 선갑도 부근 수역에서 16,500 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하였다. 경기만에서 우점하여 출현한 동물플랑크톤은 *Noctiluca scintillans*, *Acartia hongii*, *Oithona davisae*, *Paracalanus crassirostris*, *Paracalanus indicus*, *Oikopluera* spp. 였으며 이들에 의해 전체 평균 동물플랑크톤 개체수의 94.9%가 점유되었다. 대부분의 우점종들은 경기만에서 연중 넓게 분포하지만 계절에 따른 개체수의 대량 증가 현상은 내만 수역에서 집중되는 현상이 나타났으며 이러한 시, 공간적 분포 특성은 수온과 식물플랑크톤 현존량에 의해 크게 영향을 받는 것으로 판단된다.

The spatio-temporal distribution of zooplankton community was investigated in Kyeonggi Bay with monthly samples from February 2001 to December 2001 at 5 stations along a transect between Incheon coastal waters and Seongap-Do. Monthly mean abundance of total zooplankton ranged from 1,100(Feb.)~404,200 indiv./m<sup>3</sup> (Aug.) and annual mean abundance of total zooplankton was 55,000 indiv./m<sup>3</sup>. The spatial mean abundance of total zooplankton varied from 114,600 indiv./m<sup>3</sup> (Incheon coastal waters) to 16,500 indiv./m<sup>3</sup> (Seongap-Do). Zooplankton abundance was higher in the inner bay than in the outer bay. *Noctiluca scintillans*, *Acartia hongii*, *Oithona davisae*, *Paracalanus crassirostris*, *Paracalanus indicus* and *Oikopluera* spp. were dominant species in Kyeonggi Bay and they contributed 95% of annual mean abundance of total zooplankton. Most of dominant species distributed widely in study area throughout the year, however seasonal abundance peak only happened in inner part of the Bay. This pattern suggests that the spatio-temporal distribution of zooplankton is affected by the variations of water temperature and phytoplankton standing stock.

**Key words:** Zooplankton community, Kyeonggi Bay, Spatio-temporal distribution

## 서론

동물플랑크톤은 표영생태계에서 일차생산자와 상위 단계 소비자를 연결하는 고리 역할을 담당하고 있으며, 동물플랑크톤 군집의 시, 공간적인 분포에 대한 연구는 대상 수역의 표영생태계 구조를 이해하는데 필수적이다. 연안 하구역 생태계에 플랑크톤 군집의 분포 양상은 다양한 물리, 화학, 생물학적 요인에 의해 영향을 받으며 특히 수온, 염분, 먹이 조건 등은 동물플랑크톤 군집의 시, 공간적인 분포를 결정하는데 중요한 요인이 된다(Riley, 1967;

Haury *et al.*, 1992).

경기만은 황해 중동부 해역에 위치한 수심 10~40 m 의 연안 하구역으로 대조차가 9 m에 이르고 최대 조류 유속은 3~4 knot 의 범위로 빠른 조류 유속 때문에 퇴적물의 재부유가 활발하여 지속적으로 높은 탁도가 유지되며 경기만 안쪽 수역에서 외해쪽 수역으로 나가면서 계절에 따른 수온과 염분의 공간적 분포가 복잡하게 나타난다(Choi and Shim, 1986a; Choi and Shim, 1986b).

경기만에서 수행된 동물플랑크톤 군집의 시, 공간적 분포에 관한 연구는 명(1992), Kim and Lee(1994), 박과 허(1997), Shim and Choi(1996), 윤과 최(1997), Youn and Choi(2003) 등이 있으나 대부분 연구 수역이 인천 연안을 중심으로 인공적으로 만들어

\*Corresponding author: ysh1393@hanmail.net

진 폐쇄 환경과 하구역으로 국한되어 있어 경기만 수역의 광범위한 동물플랑크톤 군집의 시, 공간적 분포 특성을 이해하기 어렵다. 기존의 연구 결과들을 보면 경기만 수역에서 출현하는 동물플랑크톤 군집의 공간적 분포는 염분에 의해 주로 영향을 받는 것으로 알려져 있으나(명, 1992; 윤과 최, 1997) 이러한 결과는 담수의 유입 영향으로 시, 공간적인 염분 변화가 큰 하구역 및 내만 수역으로 국한될 가능성이 있다.

본 연구의 목적은 경기만에서 출현하는 동물플랑크톤 군집의 시, 공간적 분포 특성을 파악하고 이를 통해 경기만 표영생태계에서 동물플랑크톤 군집의 구조와 분포를 조절하는 제한 요인을 규명하고자 한다.

**재료 및 방법**

시료 채집은 경기만 내측에 위치한 인천항부터 선갑도 부근 수역에 이르는 5개 정점에서 2001년 2월부터 2001년 12월까지 월별로 수행되었다(Fig. 1). 환경 요인 측정을 위해 매 정점에서 표층수를 채수하고 salino-meter(YSI 30)을 이용하여 수온과 염분을 측정하였다. 식물플랑크톤 염록소-a의 측정을 위해 정점 1, 3, 5에서 Niskin 채수기를 이용하여 수심 5 m에서 해수를 채수하였다. 채수된 해수 중 500 ml를 Whatman GF/F로 여과하고 여과지는 냉동 보관하여 실험실로 운반한 후 실험실 분석을 실시하였다. 분석 전에 90% 아세톤에 여과지를 넣은 후 24시간동안 냉암소에 보관되었고, 이후 분광광도계를 이용하여 흡광도를 측정하여 염록소-a를 측정하였다(Parsons *et al.*, 1984). 경기만 수역은 수심이 낮고 조류에 의해 수괴의 수직 혼합이 활발하게 발생하므로(Choi and Shim, 1986b), 측정된 5 m 수심의 염록소-a는 전체 수층의 염록소-a 농도의 대표값으로 가정하였다. 동물플랑크톤 시료의 채집은 유량계가 부착된 망목 60 µm, 망구 0.45 m, 길이 2 m의 원추형 네트를 사용하였으며, 저층에서 표층까지 수직 채집되었다. 채집된

시료는 현장에서 즉시 sodium tetraborate를 첨가한 중성 포르말린으로 최종 농도 4%로 고정되었고, 채집된 시료는 실험실 내에서 우점종 개체수가 약 100개체 이상 계수될 정도의 부차 시료를 취해 Bogorov 계수관에서 계수하였다(UNESCO, 1979). 생물종의 동정은 가능한 낮은 분류 단계까지 동정하였으며, 계수된 개체수는 단위 체적당 개체수(indiv./m<sup>3</sup>)으로 환산하였다. 환산된 개체수의 유효 숫자는 100의 단위로 기술하였다. 요각류 nauplii와 섬모충류의 개체수는 작은 크기로 인해 채집시 발생될 수 있는 손실 때문에 본 연구에서는 제외되었다.

**결 과**

**환경 요인**

조사 수역의 물리적 환경 요인인 수온과 염분의 계절별 분포 양상은 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 계절별 수온 분포는 2.4~26.8°C의 범위로 월 평균 수온은 2월에 가장 낮았고 8월에 가장 높았으며, 3월에서 9월 사이에는 외해로 갈수록 수온이 낮았으며, 그 외의 시기에는 내만으로 갈수록 수온이 높아지는 양상을 보였다. 염분 분포는 22.7~31.9 psu의 범위로 하계 집중 호우가 발생하는 7월과 8월에 내만 수역에서 27 psu 이하의 낮은 염분 구름이 형성되나 이 시기를 제외한 나머지 시기에는 평균 31±0.6 psu의 유지하였다. 정점별 염분 차이는 평수기인 2월~6월과 10월~12월에

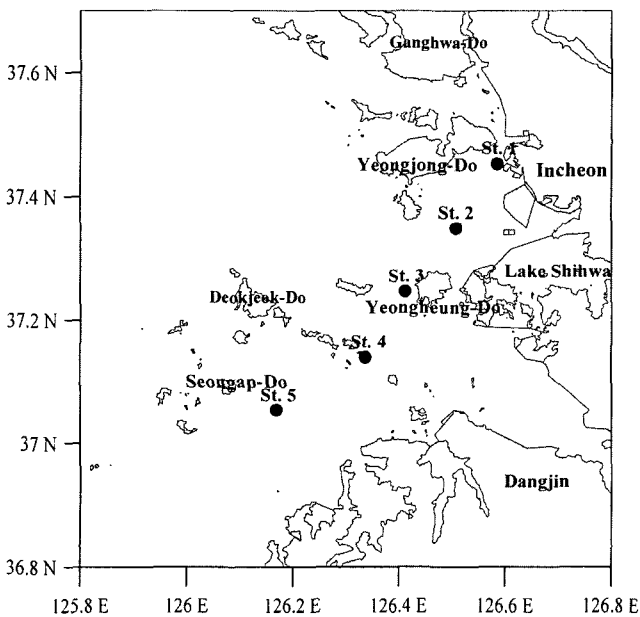


Fig. 1. Map of sampling stations in Kyeonggi Bay.

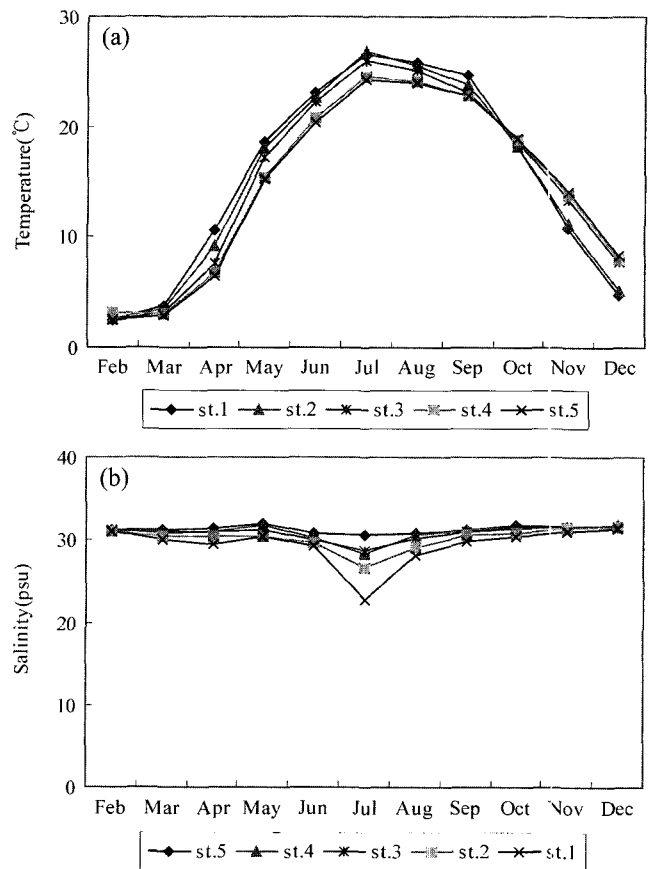


Fig. 2. Spatio-temporal variations of (a) temperature and (b) salinity in Kyeonggi Bay.

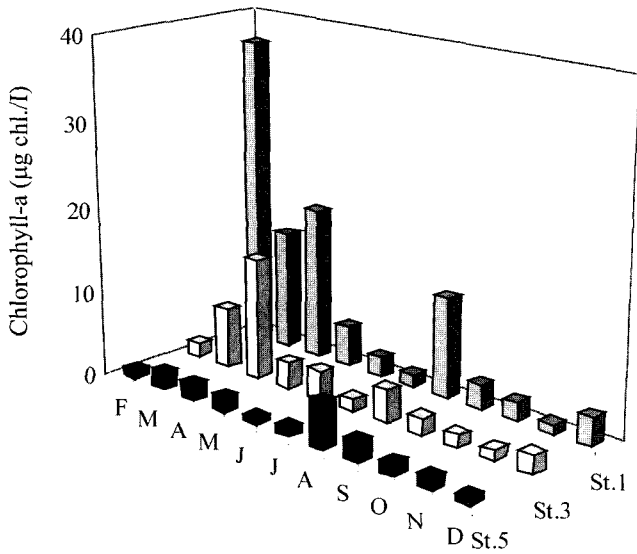


Fig. 3. Spatio-temporal variations of chlorophyll-a concentrations in Kyeonggi Bay.

는 1psu이하로 전 정점에서 유사한 분포를 보인 반면, 풍수기인 7월~9월에는 최대 7.9 psu의 차이를 나타냈다.

생물학적 환경 요인인 식물플랑크톤 엽록소-a 농도의 계절별 분포 양상을 살펴보면 내만 수역인 정점 1에서는 2월에 전 조사 시기에 걸쳐 가장 높은 36.6 µg Chl-a/l가 나타났으며, 10 µg Chl-a/l 이상의 높은 농도가 4월까지 유지되었고, 8월에 다시 11.8 µg Chl-a/l이 나타나 연중 2회의 식물플랑크톤 대증식이 발생하였다(Fig. 3). 영흥도 동쪽에 위치한 정점 3에서는 4월에 가장 높은 14.1 µg Chl-a/l가 나타났으며, 8월에도 3.9 µg Chl-a/l의 비교적 높은 값이 측정되었다. 경기만 외측에 위치한 정점 5에서는 인천 연안 수역에 비해 조사 기간 평균 엽록소-a의 값은 낮으나 정점 3과 유사하게 4월과 8월에 각각 비교적 높은 값이 나타났다. 전반적으로 동춘계에 걸쳐 발생하는 식물플랑크톤 대증식은 하계에 발생하는 대증식에 비해 높은 엽록소-a의 값이 나타나며, 지속 시간도 길게 나타났다.

**동물플랑크톤 종조성과 출현 개체수 분포**

본 연구 기간중 출현한 동물플랑크톤 출현종은 원생동물 1종, 해파리류, 모악동물 1종, 지각류 2종, 요각류 11속 17종, 1개 미등정 분류군, 미색충류 1종, 11개 유생 분류군으로 구성되어 있다 (Table 1).

연구 수역에서 출현한 동물플랑크톤 군집의 전체 출현 개체수 분포는 500~1,001,300 indiv./m<sup>3</sup>의 범위로 출현하였으며, 월별 정점 평균 개체수 분포는 1,100~404,200 indiv./m<sup>3</sup>의 범위로 2월에 가장 적은 개체수가 출현하였고 8월에 가장 많은 개체수가 출현하였다. 연구 기간중 출현한 동물플랑크톤의 평균 개체수는 55,000 indiv./m<sup>3</sup>였으며, 정점별 조사 기간 평균 개체수는 정점 1에서 114,600 indiv./m<sup>3</sup>로 가장 많았고 외해쪽으로 갈수록 감소하여 정점 5에서 가장 적은 16,500 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하였다(Fig. 4a). Fig. 4b는 전체 동물플랑크톤 개체수에서 외편모류 *Noctiluca scintillans*의 개체수를 제외한 그림으로 전체 개체수 분포와 유사하게 8월

Table 1. List of zooplankton occurred in Kyeonggi Bay during this study

Dinoflagellate	
<i>Noctiluca scintillans</i>	
Chaetognatha	
<i>Sagitta crassa</i>	
Cladocerans	
<i>Podon leuckarti</i>	<i>Evadne tergestina</i>
Copepods	
<i>Calanus sinicus</i>	<i>Paracalanus indicus</i>
<i>Paracalanus crassirostris</i>	<i>Centropages abdominalis</i>
<i>Centropages tenuiremis</i>	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>
<i>Eurytemora pacifica</i>	<i>Labidocera euchaeta</i>
<i>Calanopia thomsoni</i>	<i>Acartia hongii</i>
<i>Labidocera bipinnata</i>	<i>Acartia pacifica</i>
<i>Acartia sinjiensis</i>	<i>Corycaeus affinis</i>
<i>Tortanus spinicaudatus</i>	<i>Oithona davisae</i>
<i>Oithona similis</i>	Unidentified harpacticoids
Appendicularia	
<i>Oikopleura</i> spp.	
Others	
Unidentified hydrozoans	Decapod nauplii
Polychaete larvae	zoaea
Mysis	Cirripede nauplii and cyprii
Immature amphipods	Mollusc larvae
Fish eggs and larvae	Echinoderm larvae

a) Thick letters indicate the dominant species during this study.

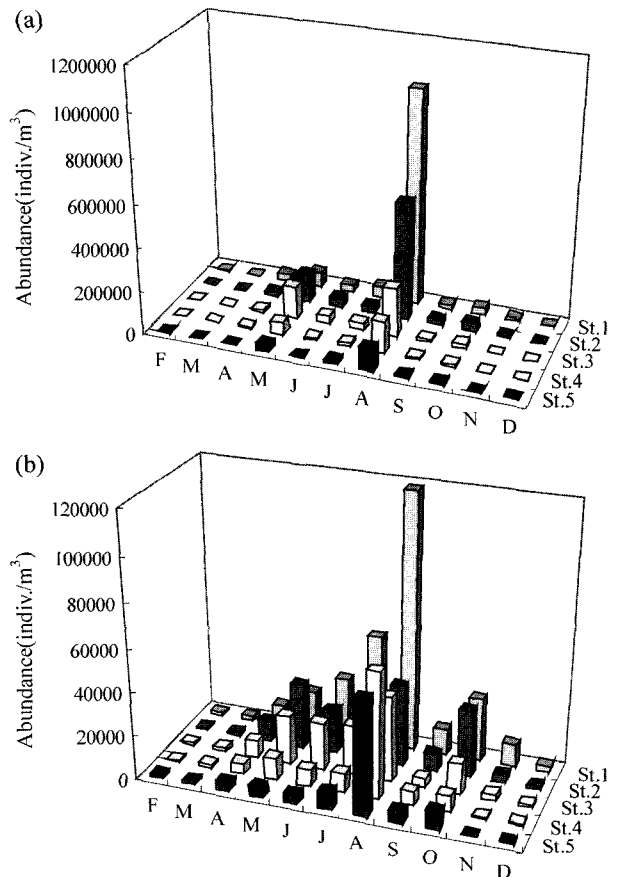


Fig. 4. Spatio-temporal variations of (a) total abundance and (b) subtotal abundance except *Noctiluca scintillans* in Kyeonggi Bay.

에 가장 많은 60,800 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하였으며, 2월에 가장 적은 1,100 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하였다.

**우점종의 출현 개체수 분포**

조사 기간중 경기만에서 우점하는 동물플랑크톤은 원생동물 *Noctiluca scintillans*, 요각류 *Acartia hongii*, *Oithona davisae*, *Paracalanus crassirostris*, *Paracalanus indicus*, 유형동물 *Oikopleura* spp.가 있으며 이들이 전체 평균 동물플랑크톤 개체수의 95%가 점유하였다. 이들의 시, 공간적 분포 양상을 자세히 살펴보면(Fig. 5) 원생

동물 *Noctiluca scintillans*는 조사 기간 평균 40,700 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하여 전체 동물플랑크톤 출현 개체수의 74%를 차지하여 가장 우점한 생물이었다. 이종의 시, 공간적 분포 양상을 살펴보면 수온 5°C 이하의 2월과 3월에는 미약한 출현 양상을 보였으나 4월 이후 정점 1을 중심으로 개체수가 증가하기 시작하였으며 5월에 정점 평균 70,400 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하는 대량 증가 현상이 발생하였다. 이후 6월과 7월에는 10,000 indiv./m<sup>3</sup> 이하의 출현 양상을 보였으나 8월에 정점 1에서 조사 기간중 가장 많은 883,200 indiv./m<sup>3</sup>가 정점 1에서 출현하였다. 이 시기에는 정점 평균 343,400

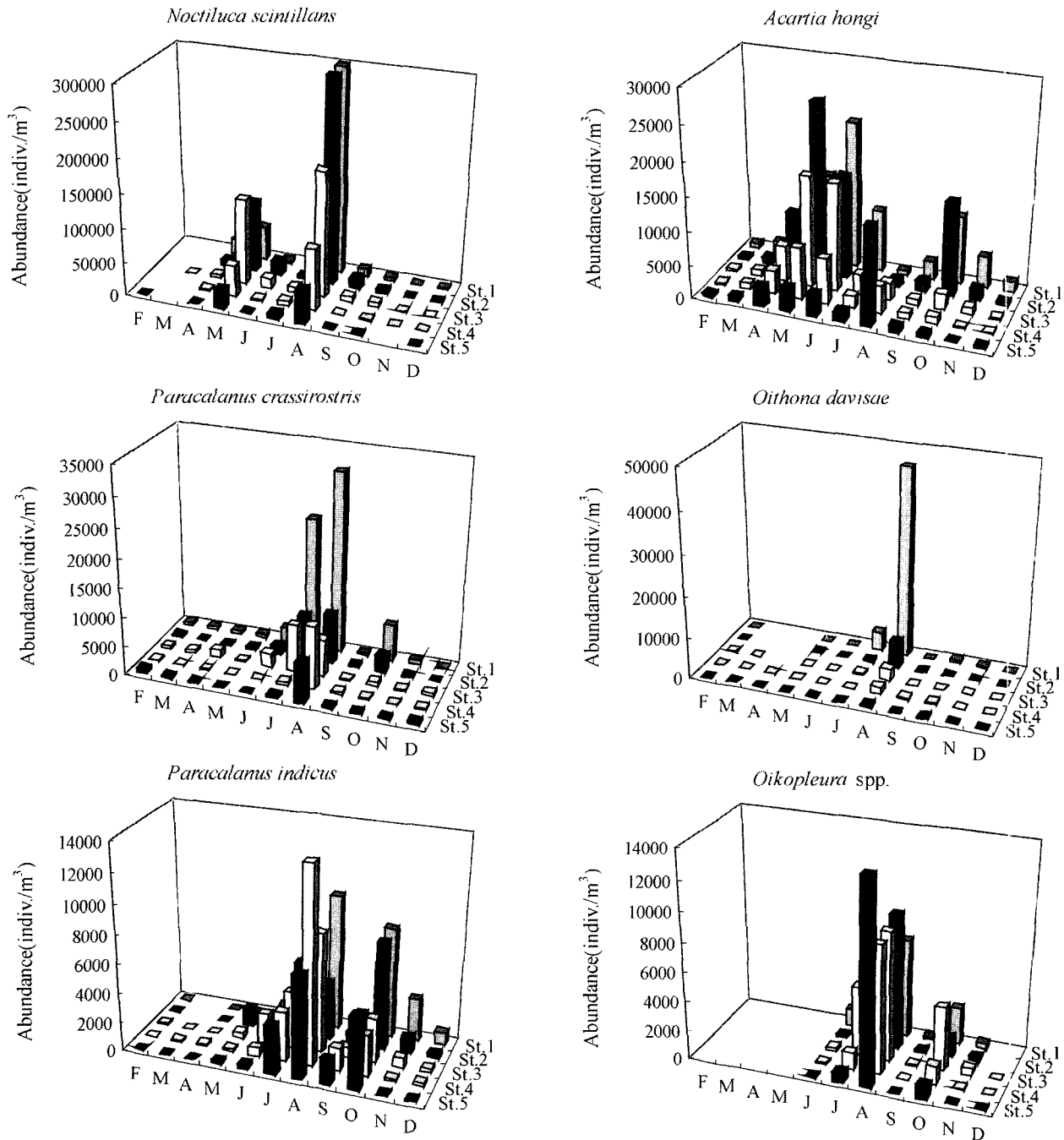


Fig. 5. Spatio-temporal variations of abundance of dominant species in Kyeonggi Bay.

indiv./m<sup>3</sup>가 출현하는 대량 증가 현상이 발생하였고, 9월 이후 급격히 감소하여 11월에는 정점 평균 500 indiv./m<sup>3</sup> 미만의 개체수가 출현하였다. 정점별 분포 양상은 4~5월과 8~9월에 내만에 위치한 정점 1, 2, 3에서 10,000 indiv./m<sup>3</sup> 이상의 개체수가 집중적으로 분포하는 양상을 보였으며, 외해로 갈수록 개체수가 급격히 감소하였다.

요각류 *Acartia hongii*는 조사 기간 평균 4,500 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하여 전체 동물플랑크톤 개체수의 8%를 차지하였으며, 요각류 군집 내에서는 41%를 점유하여 요각류 중 가장 많은 개체수가 출현한 종이다. 이종은 조사 시기동안 전 정점에서 출현하고 있으며 계절별 개체수 분포는 동계인 2월과 12월에는 1,000 indiv./m<sup>3</sup> 이하의 적은 개체수가 출현하지만, 3월 이후 수온이 상승하면서 개체수 증가가 시작되고 5월과 6월에 각각 12,000 indiv./m<sup>3</sup> 이상의 대량 증가 현상이 발생하였다. 수온이 25 °C를 넘는 7월 이후 하계에는 급격한 개체수 감소가 발생하였고, 10월에 5,600 indiv./m<sup>3</sup>로 개체수가 다시 증가하였으나 이후 다시 개체수가 감소하였다. 정점별 분포 양상은 8월을 제외한 전 시기에 걸쳐 내만에 위치한 정점 1, 2에서 가장 많은 개체수가 출현하였고, 외해로 갈수록 급격한 개체수 감소가 나타났다.

*Paracalanus crassirostris*도 *Acartia hongii*와 더불어 조사 시기 내내 전 조사 정점에서 출현한 종으로 조사 시기 평균 2,400 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하여 전체 동물플랑크톤 군집의 4%를 차지하였으며, 요각류 군집에서는 22%를 점유하였다. 계절별 출현 양상은 정점 평균 수온 18 °C 이하인 2월에서 5월 사이와 11월과 12월 사이에는 500 indiv./m<sup>3</sup> 미만의 낮은 개체수를 유지하다가 수온이 18 °C 이상으로 상승하면서 급격히 개체수가 증가하여 8월 정점 평균 12,800 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하는 대량 증가 현상이 발생하였으며, 이후 10월에도 2,100 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하여 계절별로는 2번의 대량 증가 현상이 나타났다. 정점별 분포 양상을 보면 저수온기에는 전 정점에 걸쳐 적은 개체수로 불규칙적인 분포 양상을 보였으나 개체수의 대량 증가 현상이 발생하는 시기에는 내만 수역에 개체수가 집중되는 분포 양상을 보였다.

*Oithona davisae*의 개체수 분포는 연구 기간중 평균 1,200 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하였으며, 계절별 분포 양상은 *Paracalanus crassirostris*와 유사하게 저수온기에는 정점 평균 300 indiv./m<sup>3</sup> 이하의 적은 개체수를 유지하다가 7월에 정점 평균 1,000 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하였고 8월에는 정점 평균 11,500 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하는 대량 증가 현상이 나타났으며, 이후 급격한 개체수 감소가 발생하였다. 공간적 분포 양상은 2월에서 5월 사이에는 내만 수역보다는 외해쪽에 위치한 수역에서 소량으로 분포하였으며, 특히 3월과 4월 사이에는 내만 수역에서 전혀 출현하지 않았다. 7월과 8월 사이에 개체수 대량 증가가 발생할 시기에는 내만 수역에서 집중적인 분포를 보였고 이후 시기에는 조사 시기에 따라 불규칙적으로 분포의 중심이 달라지는 양상을 보였다.

*Paracalanus indicus*의 개체수 분포는 조사 시기 평균 2,000 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하였으며, 계절별 분포 양상은 2월에서 5월 사이에는 100 indiv./m<sup>3</sup> 이하의 적은 개체수가 유지되다가 6월 이후 개체수가 증가하기 시작하여 7월에 정점 평균 8,300 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하는 대량 증가 현상이 발생하였고 10월에도 5,100 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하여 계절적으로 2번의 개체수 대량 증가 현상이 발생하였

며, 이후 급격히 개체수가 감소하였다. 정점별 출현 양상을 살펴 보면 위에서 언급되었던 다른 우점종들이 내만 수역에서 집중적인 대량 증가 현상이 보이는데 비해 이 종은 계절별 최대 개체수가 출현하는 시기인 8월에 외해쪽에 위치한 정점 4에서 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 개체수 분포가 집중되는 수역이 내만 수역인 경우는 7월과 10월에서 12월 사이였다.

유형동물 *Oikopleura* spp.의 개체수 분포는 조사 기간 평균 1,300 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하였으며, 계절별 분포 양상은 2월에서 5월까지의 조사 수역에서 전혀 출현하지 않았다가 6월 이후 출현하여 8월에 정점 평균 9,500 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하는 대량 증가 현상이 발생하였다. 10월에도 2,100 indiv./m<sup>3</sup>가 출현하여 하계에 우점하는 다른 우점종의 계절 분포와 유사한 양상을 나타내었다. 정점별 출현 양상을 보면 *Paracalanus indicus*와 유사하게 최대 개체수가 나타나는 8월에 외해쪽 수역인 정점 5에서 집중적으로 분포하였으며 주 분포 수역이 내만 수역이 아닌 외해쪽 수역에 위치하고 있었다.

## 고 찰

온대 연안 수역의 동물플랑크톤 군집은 인근 외해 수역에 비해 낮은 종다양성과 높은 개체수가 출현하는 특징을 보이고 있다 (Kimmerer, 1993). 경기만에서 출현하는 동물플랑크톤 군집도 이러한 분포 특성과 유사한데, 특히 소수 우점종에 의해 높은 우점률과 많은 개체수가 출현하는 것은 기존에 경기만에서 보고된 연구 결과와 일치한다 (Kim and Lee, 1994; Shim and Choi, 1996; 박과 허, 1997; 윤과 최 1997; Youn and Choi, 2003).

Youn and Choi(2003)의 보고에서도 나타나듯이 경기만에서 연중 가장 우점하는 원생동물 *Noctiluca scintillans*는 동계를 제외한 전 계절에 걸쳐 지속적으로 많은 개체수가 출현하며, 특히 식물플랑크톤의 대증식이 발생하는 시기에는 매우 높은 우점률이 나타난다. 이(1995)는 실험실 환경에서 *Noctiluca scintillans*의 개체수가 대량 증가할 수 있는 물리적인 조건으로 염분 23 psu와 수온 25 °C를 제시하였다. 염분 17~34 psu, 수온 10~30 °C의 범위에서 적정 규모의 먹이 조건이 조성되면 성장률 0.2 day<sup>-1</sup> 이상을 유지할 수 있으며 최대 성장률은 0.81 day<sup>-1</sup>에 이른다고 보고한 바 있으며 이러한 성장률은 하루에 1회 이상의 분열을 통한 개체수 증가가 발생할 수 있다. 또한 Buskey(1995)는 이 종을 실험실 내에서 규조류 및 와편모류를 먹이로 하여 배양할 때 최대 0.5 day<sup>-1</sup>의 성장률을 얻었다고 하였으며, Nakamura(1998)는 현장 실험을 통해 최대 0.28 day<sup>-1</sup>의 성장률이 나타난다고 하였다. 기존의 연구 결과와 본 연구에서 나타난 *Noctiluca scintillans*의 시, 공간적 분포 양상을 종합해 보면 경기만에서 *Noctiluca scintillans*의 대량 증가가 발생할 수 있는 환경은 5월에서 10월 사이에 담수의 유입 영향을 받아 염분이 외해수에 비해 다소 낮은 내만 수역에서 식물플랑크톤 대증식이 발생하는 시기로 정리될 수 있으며 성장 조건에 적당한 환경이 조성되면 높은 성장률로 인하여 단시일 내에 개체수 증가가 발생할 수 있을 것으로 사료된다.

Shim and Choi(1996)는 경기만 인천 연안 수역에서 출현하는 *Acartia* 속의 2종인 *Acartia hongii*와 *Acartia pacifica*의 계절적 분포 양상에 대해서 저수온기에서 *Acartia hongii*가 우점하다가 고수온기가 되면 *Acartia pacifica*로 계절적인 천이가 발생한다고 하였다.

윤과 최(2003)의 연구에서도 경기만 내만 수역에서 *Acartia hongii*의 개체수가 7월 이후 급감하여 9월 이후에 다시 개체수가 증가하는 계절적인 분포 특성을 보인다고 하였다. 이번 연구에서도 *Acartia hongii*의 계절적인 분포 특성은 기존에 경기만에서 보고된 개체수 분포 양상과 매우 유사하였다. 이 종의 공간적 분포 특성은 8월을 제외한 대부분의 시기에 인천항(정점 1)에서 팔미도(정점 2)에 이르는 경기만 내만 수역이 분포의 중심임을 확인할 수 있어, 이종의 주분포 역이 내만 수역임을 밝힐 수 있었다. 그러나 8월에는 분포의 중심이 연구 수역에서 가장 외해 쪽에 위치한 선갑도 부근 수역(정점 5)이었다. *Acartia hongii*는 경기만에서 전 계절에 걸쳐 지속적으로 출현하며, 춘계와 추계에 개체수의 대량 증가가 나타나며, 동계에는 전체 동물플랑크톤 군집 내에서 가장 높은 우점율을 보이는 종이다. 따라서 이종은 넓은 수온 범위에서 서식할 수 있는 광온종이며, 15~23°C 사이에서 개체수 대량 증가 현상이 발생하고 이후 수온이 더욱 상승하여 25°C를 넘으면 개체수가 급감한다. 반면 5°C 이하의 낮은 수온에서도 지속적인 개체수 증가가 발생하였다. 이러한 분포 특징은 *Acartia hongii*가 낮은 수온에서는 비교적 내성이 강하나 23°C 이상으로 수온이 상승하면 수온에 대한 내성이 상당히 약해지는 것을 의미하는 것으로 판단된다. 7월과 8월 사이에 경기만 내만 수역은 표층 수온은 25.9(8월)~26.5°C(7월)로 연중 가장 높은 수온 분포가 한달 정도 지속되며, 외만 수역(정점 5)에서는 내만 수역의 수온에 비해 약 2°C 정도 낮은 23.6(8월)~24.2°C(7월)의 수온분포가 발생한다. 온대 연안 수역에서 저수온기에 주로 출현하는 *Acartia* 종들의 경우 수온이 증가하면서 신진대사율이 높아지고 자연 수명이 급격히 짧아짐을 보고한 바 있다(Kimmerer and McKinnon, 1987; Uye, 1981). 고수온에 대한 내성이 비교적 약한 *Acartia hongii*가 8월에 내만 수역에서 식물플랑크톤의 하계 대증식이 발생하여 먹이 조건이 좋은 환경이 조성되었음에도 불구하고 외만 수역에서 분포의 중심이 발생하는 것은 내만 수역에서 25°C 이상의 높은 수온에 한달 가량 노출되면서 과도한 신진대사율의 증가로 자연 사망률이 높아져 개체수가 감소한 반면, 외만 수역에서는 내만 수역에 비해 비교적 낮은 수온 분포로 개체수 감소량이 상대적 크지 않았기 때문에 주분포역의 변화가 발생한 것으로 사료된다. 일본 Onagawa Bay에서 출현하는 *Acartia omorii*의 경우 수온이 25°C 이상일 때 요각류 개체군의 가입량을 결정하는데 중요한 난생산력이 급격히 감소한다고 보고된 바 있으며(Uye, 1981), 본 연구와 같이 수행된 *Acartia hongii*의 난생산력 연구에서도 외만 수역의 난생산력이 수온이 25°C 이상인 인천 연안 수역의 난생산력에 비해 1.6(8월)~9.8배(7월) 높았다(Youn and Choi, 미발표자료). 내만 수역에서 발생한 난생산력의 감소는 자연 사망을 증가와 더불어 *Acartia hongii* 개체군의 개체수 감소에 영향을 미쳤을 가능성이 큰 것으로 판단된다. 황과 최(1993)는 황해 중부 수역의 동물플랑크톤 분포 연구에서 *Acartia hongii*의 외해쪽 분포 확장이 태안반도 북서 해역까지이며 황해 연안역을 따라 분포한다고 보고한 바 있으며, Soh and Suh(2000)도 한반도 연안 수역에서 이종의 분포는 경기만에서 원도 부근 수역까지 황해 연안역을 따라 분포하는 것을 보고한 바 있다.

하계 요각류 군집에서 우점하는 *Paracalanus crassirostris*와 *Oithona davisae*의 계절적 분포 특성을 살펴보면, Youn and Choi

(2003)가 지적하듯이 저수온기에는 소량의 개체수 만이 출현하다가 높은 수온이 형성되는 하계에 내만 수역에서 급격히 개체수가 증가하는 유사한 분포 양상을 보였다. 그러나 *Paracalanus crassirostris*나 *Oithona davisae*의 전반적인 공간적 분포 양상을 살펴보면 내만 수역에서 분포가 집중되는 것은 사실이나 대량 증가 현상이 발생한 8월의 개체수 분포를 보면 *Paracalanus crassirostris*의 분포가 *Oithona davisae*에 비해 외해쪽으로 확장되어 있음을 확인할 수 있었다. 또한 동계인 2월과 12월의 경우 만의 외측 수역인 정점 4, 5에서 *Paracalanus crassirostris*의 개체수는 이 시기 가장 높은 우점율이 나타나는 *Acartia hongii*의 개체수보다 많이 출현하고 있으며, 저수온기인 동계와 춘계에도 정점 평균 300(5월)~500(2월) indiv./m<sup>3</sup> 범위의 개체수가 연구 수역에서 지속적으로 출현하고 있다. 반면 *Oithona davisae*는 7월과 8월 내만 수역에서 다량의 개체수가 출현한 것을 제외한 다른 시기에는 정점 평균 개체수가 250 indiv./m<sup>3</sup> 이하였으며, 특히 동계와 춘계에는 50 indiv./m<sup>3</sup> 이하의 적은 개체수가 주로 외해쪽 수역에서 출현하고 있으며, 내만 수역에서는 거의 출현하지 않았다. 또한 저수온기에 채집된 *Oithona davisae*는 대부분 성체 암컷이었으며(Youn and Choi, 미발표 자료) 이러한 분포 양상과 관련하여 Uye and Sano(1998)는 개체수가 가장 적은 시기인 동계에 암컷 성체의 비중이 매우 높아진다고 하였고 김(2003)도 유사한 결과를 제시하였다. 따라서 주변 서식환경이 악화되면 *Oithona davisae*는 다양한 환경 요인에 대한 내성이 가장 클 것으로 사료되는 암컷 성체 중심으로 개체군을 유지하는 것으로 판단된다. 이와 같이 두종의 전반적인 시, 공간적 분포 양상은 유사하나 *Paracalanus crassirostris*의 경우 *Acartia hongii*와 더불어 경기만에서 연중 지속적인 개체군 발달이 이루어지고 있음을 보여주며, *Oithona davisae*는 연중 경기만에서 출현하긴 하지만 개체군 성장은 하계에 내만 수역을 중심으로 이루어지는 것으로 판단된다.

*Paracalanus indicus*의 시, 공간적 분포 양상은 주분포 수역이 우점종으로 출현하는 하계 일부 시기와 추계에는 내만 수역에 집중되지만, 그 외의 시기에는 외해쪽 수역에서 주로 분포하고 있고 2월에서 4월 사이에는 극히 적은 개체수 만이 연구 수역에서 출현하는 양상이 나타나고 있다. 황과 최(1993)은 황해 중동부 해역에서 *Paracalanus parvus*가 연중 지속적으로 출현하지만 주로 8월에서 12월 사이에 우점한다고 하였으며, 특히 12월에는 연안수역과 외해 수역의 구분 없이 전 수역에서 높은 우점율을 보인다고 했으며, Shim and Yun(1990)도 천수만에서 이종이 하계와 추계에 걸쳐 우점종으로 출현하는 것을 보고한 바 있다. 경기만에서 출현하는 *Paracalanus indicus*의 분포 양상은 고수온기에 좋은 먹이 조건에 의해 경기만 수역에서 우점하다가 수온이 점차 감소하여 10°C이하로 내려가면서 주분포역이 연구 수역의 외해쪽으로 이동해가는 것으로 판단되며 이러한 출현 양상은 유형동물 *Oikopleura* spp.의 분포와 유사하다. 그러나 *Oikopleura* spp.의 경우 2월에서 5월 사이에는 연구 수역에서 거의 출현하지 않았고 12월에도 외해쪽 수역에서만 일부 출현하고 있으며 계절적인 대량 증가 현상이 발생하는 8월에만 연구 수역 전체에서 고루 분포하는 양상을 보이고 있다. Youn and Choi(2003)의 결과도 이와 유사한데 1월에서 5월 사이에는 거의 출현하지 않다가 고수온기에 주로 출현하는 양상을 보이고 있어 경기만에서 *Oikopleura* spp.의

**Table 2.** Correlation coefficients (r) between zooplankton abundance in main occurrence periods and chlorophyll-*a* in Kyeonggi Bay. Data were transformed into log-forms before the analysis

	Correlation coefficients (r)	Main occurrence periods
Total zooplankton	0.47*	April-November
Copepods	0.43*	April-November
<i>Noctiluca scintillans</i>	0.76**	May-September
<i>Acartia hongii</i>	0.56*	May-July and October-November
<i>Paracalanus indicus</i>	n.s.	July-November
<i>Paracalanus crassirostris</i>	0.71*	July-August and October
<i>Oithona davisae</i>	n.s.	July-August
<i>Oikopleura</i> spp.	0.73*	July-August and October

a) n.s.: not significant

b) Asterisks indicate the level of significant of the correlation: \* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.005$ .

분포 양상을 종합해 보면 고수온기에 외해에서 유입되어 개체수의 대량 증가가 발생한 후 저수온기에는 낮은 수온으로 인해 황해 중부 수역으로 완전히 주분포역이 이동하는 것으로 여겨진다. Kimmerer and McKinnon(1985)는 호주 남부에 위치한 Port Phillip과 Westernport Bay의 동물플랑크톤 군집 비교 연구에서 외해 수역에서 상주하는 군집 구조와 유사한 특징을 보이는 Port Phillip의 동물플랑크톤 군집에서 *Paracalanus indicus*와 *Oikopleura dioica*가 우점한다고 보고한 바 있다.

동물플랑크톤 개체수와 식물플랑크톤 엽록소-*a*의 상관 관계를 살펴보면 동물플랑크톤 개체수가 대량으로 출현하는 4월부터 11월 사이에 전체 동물플랑크톤 개체수와 요각류 개체수가 엽록소-*a*와 유의한 양의 상관 관계를 보였으며, 조사 기간 중 우점한 *Noctiluca scintillans*, *Acartia hongii*, *Paracalanus crassirostris*, *Oikopleura* spp.의 주출현 시기별 개체수도 각각 엽록소-*a*와 유의한 양의 상관 관계를 나타냈다(Table 2). 이는 다수의 우점종을 포함한 경기만의 전반적인 동물플랑크톤 개체수 분포가 식물플랑크톤 생물량의 공간적 분포에 크게 영향을 받고 있음을 보여주는 것으로 판단된다. 요각류 *Oithona davisae*의 경우에도 비록 엽록소-*a*와의 상관 관계가 유의하게 나타나지는 않았으나 주출현 시기인 8월에 엽록소-*a*의 농도가 상대적으로 높은 인천 연안 수역에 출현 개체수가 집중되는 양상을 보여 식물플랑크톤 생물량이 *Oithona davisae*의 공간적 분포에 영향을 미치고 있음을 시사한다. 요각류 *Paracalanus indicus*의 경우에는 앞에서도 언급하였듯이 주출현 시기에 분포가 연안 내만 수역이 집중되는 것이 아니라 비교적 경기만 전역에 걸쳐 고루 분포하는 양상을 보이고 있어 식물플랑크톤의 생체량 이외에 다른 환경 요인들에 의해 공간적 분포가 조절되는 것으로 사료된다.

결론적으로 경기만에서 출현하는 동물플랑크톤 군집의 공간적 분포 특징은 대부분의 우점종들이 대량 증가할 때 내만 수역에서 분포의 중심이 형성되는 것이다. 이러한 분포 양상은 계절별 시, 공간적인 수온 분포와 내만 수역의 높은 식물플랑크톤 현존량 때 문으로 사료된다. *Oikopleura* spp.를 제외한 대부분의 우점종들은 경기만에서 연중 지속적으로 출현하고 있으나 개체수의 대량 증가 시기는 계절별 수온 분포에 의해 결정되는 것으로 여겨진다 (Youn and Choi, 2003). 계절적으로 개체군 성장이 가능한 적절한 수온 분포가 발생한 종은 그렇지 않은 종에 비해 식물플랑크톤의 현존량이 높은 내만 수역에서 보다 많은 재생산을 통해 개체수를

증가시킬 수 있으므로 이러한 먹이 조건의 이질적 공간 분포는 경기만 동물플랑크톤 군집의 공간적 분포에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 논문을 세밀하게 심사해 주신 두 분의 심사 위원들에게 진심으로 감사드리며, 본 연구 수행에 함께 참여하여 현장 조사와 자료 분석에 도움을 주신 유정규, 이규철, 이영주 동학에게도 감사드립니다. 본 연구는 인하대 서해연안환경연구센터(RRC)의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

### 참고문헌

김형철, 2003. 경기만에 서식하는 요각류 동물플랑크톤 *Oithona davisae*의 생태학적인 연구. 석사학위 청구논문, 인하대학교, pp 37.

명철수, 1992. 한강하구 기수역의 동물플랑크톤 군집에 관한 생태학적 연구. 석사학위 청구논문, 인하대학교, pp 88.

박철, 허성희, 1997. 시화호와 인근 해역의 동물플랑크톤 분포로 본 시화호의 생태적 안정성. 한국해양학회지 「바다」 2: 87-91.

윤석현, 최중기, 1997. 인천연안 동물플랑크톤 군집의 계절적 분포에 관한 연구. 황해연구, 7: 91-104.

이정근, 1995. 야광충(*Noctiluca scintillans*)의 증식과 환경조건에 관한 기초연구. 1995년 춘계 수산관련 공동학회 발표요지집, 한국수산학회, 19-41 pp.

황학진, 최중기, 1993. 황해 중동부 해역 동물플랑크톤의 계절적 분포 특성. 한국해양학회지, 28: 24-34.

Buskey, E., 1995. Growth and bioluminescence of *Noctiluca scintillans* on varying algal diets. *J. Plankton Res.*, 17: 29-40.

Choi, J.K. and J.H. Shim, 1986a. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. Environmental characteristics. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 21: 56-71.

Choi, J.K. and J.H. Shim, 1986b. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. Light intensity, transparency, suspended substances. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 21: 101-109.

Haury, L.R., H. Yamazaki and Fey, C.L., 1992. Simultaneous measurements of small-scale physical dynamics and zooplankton distribution. *J. Plankton Res.*, 14: 513-530.

- Kim, S.W. and Lee, J.H., 1994. Seasonal distribution of zooplankton communities in Incheon dock, an artificially closed marine embayment facing the Yellow Sea, Western Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **29**: 376–382.
- Kimmerer, W.J., 1993. Distribution patterns of zooplankton in Tomales Bay, California. *Estuaries*, **16**: 254–272.
- Kimmerer, W.J. and A.D. Mckinnon, 1985. A comparative study of the zooplankton in two adjacent embayments, Port Philip and Westernport Bays, Australia. *Est. Coast. Shelf Sci.* **21**: 145–159.
- Kimmerer, W.J. and A.D. Mckinnon, 1987. Growth, motility and secondary production of the copepod *Acartia tranteri* in Westernport Bay, Australia. *Limnol. Oceanogr.*, **32**: 14–28.
- Nakamura, Y. 1998. Biomass, feeding and production of *Noctiluca scintillans* in the Seto Inland Sea, Japan. *J. Plankton Res.*, **20**: 2213–2222.
- Parsons. T.R., Y. Maita and C.M. Lalli, 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford, 173 pp.
- Riley, G.A. 1967. The plankton of estuaries. In: Estuaries, edited by Lauff, G. R., The Horn-Shafer Company, Baltimore, 316–326 pp.
- Shim, J.H. and K.H. Yun, 1990. Seasonal variation and production of zooplankton in Chonsu Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **25**: 229–239.
- Shim, M.B. and J.K. Choi, 1996. A study on the seasonal succession of copepod community in Kyeonggi Bay, Yellow Sea through the short interval surveys. *J. Int. Soc. Yellow Sea Res.*, **2**: 65–73.
- Soh, H.Y. and H.L. Suh, 2000. A new species of *Acartia* (Copepoda, Calanoida) from the Yellow Sea. *J. Plankton Res.*, **22**: 321–337.
- UNESCO, 1979. Zooplankton sampling. UNESCO Press, Paris, 174 pp.
- Uye, S., 1981. Fecundity studies of neritic calanoid copepods *Acartia clausi* Giesbrecht and *A. steueri* Smirnov: A simple empirical model of daily egg production. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **50**: 255–271.
- Uye, S. and K. Sano, 1998. Seasonal variations in biomass, growth rate and production rate of the small cyclopoid copepod *Oithona davisae* in a temperate eutrophic inlet. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **163**: 37–44.
- Youn, S.H. and J.K. Choi, 2003. Seasonal changes in zooplankton community in Incheon coastal waters. *J. Korean Soc. Oceanogr.* (In preparation).

---

2003년 3월 19일 원고접수

2003년 6월 23일 수정본 채택

담당편집위원: 서해립