

# 섬진강 하구역의 동물플랑크톤 군집구조와 요각류 생산력 연구

윤석현\* · 오광석\*\* · 정미희\*\*

\*, \*\* 국립수산물과학원 수산해양종합정보과

## Zooplankton Community Structure and Copepod Production in the Seomjin River Estuary

Seok-Hyun Youn\* · Ghang-Sok Oh\*\* · Mi-Hee Chung\*\*

\*, \*\* National Fisheries Research and Development Institute, Busan, 619-902, Korea

**요 약 :** 이 연구는 섬진강 하구역의 계절별 동물플랑크톤 분포 특성과 주요 요각류 우점종의 생산력을 파악하기 위하여 2009년 5월부터 2010년 2월까지 계절별로 섬진강 하구역에서 염분경사를 고려한 10개 정점을 대상으로 수행되었다. 조사기간 동안 출현한 동물플랑크톤 군집은 총 31개 분류군으로 구성되었으며, 계절별 평균 출현 개체수는 4,151 ind.·m<sup>-3</sup>이다. 평수기 조사수역의 동물플랑크톤은 연안성 동물플랑크톤이 주로 출현하였으나, 풍수기에는 기수성 동물플랑크톤의 출현이 하구역 중·상류에서 집중되었다. 현장실험을 통해 얻어진 *Acartia* spp.와 *Paracalanus parvus* s.l.의 성장률은 수온과 염분 변화에 의해 조절되는 것으로 나타났다. 우점 요각류를 대상으로 계산된 섬진강 하구역의 연간 요각류 생산력은 3.49 g C·m<sup>-2</sup>·yr<sup>-1</sup>로 비교적 높은 생산력을 보였으며, 이처럼 섬진강 하구역의 동물플랑크톤 생산력이 높은 것은 높은 식물플랑크톤 현존량을 바탕으로 다양한 염분 범위에 따른 연안종과 기수종의 다량 출현 때문으로 판단된다.

**핵심용어 :** 동물플랑크톤, 하구역, 염분, 요각류 생산력, 성장률

**Abstract :** Zooplankton community structure and copepod production in Seomjin River estuary were investigated at 10 stations along the salinity gradients from May 2009 to February 2010. Total zooplankton taxa were identified to be 31 in the study area and seasonal average abundance of zooplankton was 4,151 ind.·m<sup>-3</sup> during the study period. Zooplankton community was mainly composed of coastal species in dry season. However, brackish species dominated in upper or middle part of this estuary in flood season. This study showed that the growth rates of *Acartia* spp. and *Paracalanus parvus* s.l. measured from field experiments were regulated by the variations of water temperature and salinity. The annual copepod production estimated by dominant copepod species was 3.49 g C·m<sup>-2</sup>·yr<sup>-1</sup>, and the relatively high production value could be explained by the high phytoplankton standing stocks and the mass occurrence of coastal and brackish species with relation to various salinity gradients in Seomjin River estuary.

**Key Words :** Zooplankton, Estuary, Salinity, Copepod production, Growth rate

### 1. 서 론

섬진강 하구역은 비교적 오염이 적은 담수가 유입되고 하구둑이 건설되지 않아 해수와의 혼합이 이루어지는 자연형 하구 특성을 보이는 수역이다. 강의 총 길이는 225 km, 총유역면적은 약 5,000 km<sup>2</sup>로 남해 연안과 연결된 강 중 낙동강 다음으로 큰 강이다. 그러나 최근 하구역 주변의 개발로 인하여 해안선 및 지형이 빠르게 변화하면서 수리역학적인 특징이 바뀌고 있으며, 해수 침투에 의한 염수 피해, 생물 서식지 감소 등과 같은 환경문제가 증가하고 있는 실정이다. 특히 하류역의 염분 증가는 섬진강 수계권에 있는 수어댐과 주암댐 건설

에 의해 식수와 농업용수, 공업용수 및 발전용수로 많이 이용되면서 급격하게 감소한 섬진강의 유량 및 준설에 의한 수심 증가와 무관하지 않을 것으로 판단된다.

기존에 우리나라 하구역에서 보고된 동물플랑크톤 관련 연구들을 살펴보면, 한강 하구역에서는 Yoo and Lim(1991)에 의한 하구역 하류의 동물플랑크톤 군집구조 연구가 있었으며, Youn and Choi(2008)에 의한 조석 주기에 따른 한강 하구역 동물플랑크톤 군집의 구조 변화 연구가 수행되었다. 금강 하구역에서는 하구둑 건설에 따른 동물플랑크톤 종조성 변화 연구가 수행되었으며(Kim et al., 2002), 만경-동진강 하구역에서는 염분 농도에 따른 동물플랑크톤 우점종 분포 양상에 대한 연구가 이루어졌다(서 등, 1991). 영산강 하구역에서는 동물플랑크톤 군집 구조 분석이 Yoo et al.(1987)에 의해 수행되었으

\* 대표저자 : 정희원, shyoun@nfrdi.go.kr, 051-720-2233

며, 권 등(2001)과 박 등(2002)에 의해서 섬진강 하구역에서 염분 경사에 따른 동물플랑크톤 우점종 분포 연구가 이루어졌다. 기존 연구들을 종합해 보면 우리나라 하구역에서 수행된 동물플랑크톤 관련 연구들은 대부분 하구역 염분 경사에 따른 종조성과 출현량 혹은 우점종의 시·공간적 분포 특성에 대한 연구들이 대부분을 차지하고 있으며, 대체로 염분 농도와 같은 물리적인 환경 요인이 동물플랑크톤의 분포역을 결정하는데 중요한 제한 요인으로 작용하고 있음을 제시하고 있다. 또한 하구역의 지리적 위치에 따라 계절별로 출현하는 종조성의 변화는 있지만 대체로 우리나라 하구역에 출현하는 동물플랑크톤 군집은 연안-기수성 요각류가 우점종으로 출현하고 있으며, 하계나 홍수기에 제한적으로 기수-담수종의 유입이 발생하는 것으로 나타났다. 아울러 우리나라에서 보고된 동물플랑크톤 생산력 연구는 천수만에서 Shim and Yun(1990), Shin(1997)의 황해와 동중국해 요각류 생산력 연구, Kang et al.(2007)의 일광만 요각류 생산력 연구, Youn and Choi(2007)의 경기만 요각류 생산력 연구 등이 있으나, 하구역에서 보고된 동물플랑크톤 생산력 관련 연구는 보고된 것이 전무한 실정이다.

이번 연구는 섬진강 하구역의 생태학적 기능을 평가하기 위한 연구로 섬진강 하구역에 서식하는 동물플랑크톤의 계절적 군집구조 변화와 주요 우점종의 분포 특성을 이해하고 저차생태계의 구조를 파악하고자 함이다. 또한 이를 통해 섬진강 하구역에서 주요 우점종을 대상으로 계절에 따른 섬진강 하구역의 동물플랑크톤 생산력을 추정하여 섬진강 하구역 표영생태계의 에너지 흐름을 이해하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

섬진강 하구역의 동물플랑크톤 군집 조사를 위하여 섬진강 하구역 10개 정점을 대상으로 2009년 5월부터 2010년 2월 까지 계절별 조사를 실시하였다(Fig. 1). 각 정점에서 동물플랑크톤 채집은 원추형 네트(망구 50 cm, 망목 150  $\mu$ m)를 이용하여 수심 0~3m에서 2~4분간 수평 예인하여 채집하였다. 섬진강 하구역의 경우, 수심이 3~15m 내외로 낮고 대상 해역의 바닥 형태의 변화가 심하여 경사 채집 대신 수평 채집을 실시하였다. 채집한 동물플랑크톤은 중성 포르말데히드 수용액(원액)으로 시료 내 포르말데히드 농도가 4% 되도록 고정하였다(UNESCO, 1976). 여과수량은 원추형 네트 망구(반지름: r)의 2/3되는 위치에 유량계(Flow meter, General Oceanics)를 설치하여 측정한 유량계의 회전수(FR)에 유량계의 진행거리로 환산하기 위한 계수를 곱하여 네트로 여과한 수량을 계산하였다.

동정 및 계수를 위해 채집된 시료들의 총량을 메스실린더로 계량한 후 잘 혼합하여 우점종이 100 개체 이상 되도록 적당량을 분할하여 사례로 옮겼다. 소수의 대형 플랑크톤(예, *Euphausia*, fish larva 등)은 육안으로 구별하여 계수하였고, 그

외 동물플랑크톤은 해부 현미경(Nikon SMZ1500)하에서 외형별로 구분하면서 계수하여, 4% 중성 포르말린 수용액이 들어 있는 작은 병에 보관 하였다. 필요한 경우 동물플랑크톤을 해부 하였으며 해부는 슬라이드 위에 젓산을 떨어뜨린 후 각 개체를 Methylene blue로 염색하여 올려놓은 후, 해부침을 이용하여 행하였다. 해부한 시료는 광학 현미경(Zeiss Axiolab)하에서 동정하였다. 동정된 개체수는  $\text{ind. m}^{-3}$  으로 환산되었으며, 시료에서 계수된 요각류 nauplius기의 개체 수 자료는 이번 연구에 사용된 네트의 망목 크기가 150  $\mu$ m임을 감안할 때, 소형 요각류(예 : *Acartia*, *Paracalanus*, *Oithona* 등)의 nauplius기 유생을 정량적으로 채집하기 어려울 것으로 판단하여 정량 분석에서 제외하였다. 동물플랑크톤 다양성 지수는 동물플랑크톤 정량자료를 이용하여 Shannon-Weaver diversity index( $H'$ )로 구하였다. 또한 동물플랑크톤 집괴분석을 위하여 동물플랑크톤 정량자료를 이용하여 Bray-Curtis dissimilarity index를 사용하여 집괴분석 방법으로 분석을 수행하였다.

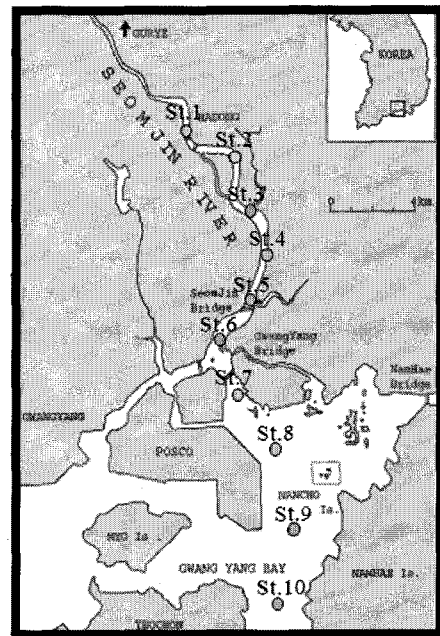


Fig. 1. Sampling stations map in Seomjin River estuary, Korea.

조사수역에서 출현한 동물플랑크톤 우점 요각류의 생산력 추정을 위한 성장률 계산은 두 가지 방법을 이용하였다. 알주머니를 달고 다니는 *Oithona davisae*와 *Pseudodiaptomus inopinus*의 경우, 기존에 보고된 수온 종속적인 성장률 실험식으로부터 성장률을 추정하였으며, 성체 암컷과 미성숙 개체(Nauplius기 제외)의 탄소량도 기존 자료를 이용하여 계산하였다(Liang and Uye, 1997; Uye and Sano, 1998). 난을 수중으로 산란하는 *Acartia* spp. (*A. omorii* + *A. hudsonica*)와 *Paracalanus parvus* s.l.의 경우, 아래와 같이 현장에서 난생산력을 측정하여 현장 성장률을 계산하였다. 현장 성장률을 측정하기 위하여 실험에 사용될 생시료 채집은 원추형 네트(망

구 50cm, 망목 150  $\mu\text{m}$ )을 이용하여 섬진강 하구역 3개 정점(정점 3, 6, 9)에서 수직 예인하여 채집하였다. 채집된 시료는 현장에서 500  $\mu\text{m}$  mesh를 이용하여 대형 동물플랑크톤 (예: 화살벌레 및 난바다 곤쟁이류 등)을 제거하고 실험실로 옮겨졌다. 실험실에서 채집된 시료 중 활발히 움직이는 성체 암컷을 피펫을 이용하여 해부현미경하에서 골라냈다. 골라낸 시료들은 30  $\mu\text{m}$  mesh를 이용하여 여과된 현장해수(정점 3, 6, 9)가 담겨진 1L polycarbonate bottle에 각각 10 $\pm$ 2 개체씩을 첨가한 후 24시간 동안 현장 해수와 동일한 온도에서 배양되었으며, 각 실험구별 3~5개의 반복구를 두었다. 24시간 이후 배양된 시료는 50  $\mu\text{m}$  mesh를 이용하여 걸러진 후 4%(최종농도) 중성 포르말린으로 고정하였으며, 해부현미경하에서 산란된 난과 성체를 계수하였으며, 난의 탄소량 측정은  $0.14 \times 10^{-6} \mu\text{gC} \cdot \mu\text{m}^{-3}$  (Huntley and Lopez, 1992)를 이용하여 계산되었다. 성체 암컷 및 copepodites의 탄소량은 *Acartia* spp의 경우,  $PL(\text{전체부 길이})^{2.64} \times 10^{-7.12}$  (Liang and Uye, 1996a)를 사용하였으며, *Paracalanus parvus* s.l.의 경우,  $PL(\text{전체부 길이})^{3.128} \times 10^{-8.451}$  (Liang any Uye, 1996b)을 이용하였다. 성체 암컷의 난생산력으로부터 얻어진 일일 성장률 계산은 다음과 같은 식을 이용하였다.

$$\text{WSEP}(\text{Weight-specific egg production rate}) = (W_e/W_{af})(24/T)$$

$W_e$ : 산란된 난의 탄소량 ( $\mu\text{gC}$ )

$W_{af}$ : 성체의 탄소량 ( $\mu\text{gC}$ )

T: 배양 시간 (hour)

각각의 우점종으로 부터 추정된 생산력은 위에서 얻어진 성장률과 성체 수컷과 Nauplius기를 제외한 Copepodites기와 성체 암컷의 탄소량 총합의 곱으로 계산되었다.

### 3. 결과 및 토의

#### 3.1 수온, 염분 및 엽록소-a 분포

연구해역의 계절별 수온 분포는 5.3~27.1 $^{\circ}\text{C}$ 의 범위로 계절에 따라 큰 차이를 보이는 반면 공간적으로는 큰 차이를 나타내지 않았다. 염분 분포는 연구해역이 하구역이기 때문에 계절에 따른 차이보다는 정점에 따른 차이가 크게 발생하였다. 가장 상류에 위치한 정점 1에서는 0~7.0 사이의 염분 분포가 나타났으며 하구쪽으로 가면서 염분이 증가하여 가장 하류에 위치한 정점 10에서는 풍수기인 8월을 제외한 나머지 시기에 연안 해양환경 특성이 보이는 32.5 이상이 나타났다. 8월에는 계절적인 강우량 증가의 영향으로 광양대교 북단에 위치한 정점 6까지 12.0 이하의 염분 분포가 발생하였으며, 하구역 외측에 위치한 정점 10에서도 29.0의 비교적 낮은 염분이 나타났다. 식물플랑크톤 엽록소-a의 농도 분포는 계절에 따라 정점 평균 1.8~13.4  $\mu\text{g chl-a} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 범위로 8월에 가장 높았고 11월에 가장 낮은 분포 양상을 보였다. 공간적으로는 비교적 낮은 엽록소-a 농도가 나타난 5월과 11월에는 정점에 따른 차

이가 크지 않고 비교적 일정한 분포를 보이는 반면, 8월과 2월에는 상류에 위치한 정점들에서 비교적 높은 엽록소-a 값이 나타났다(Fig. 2).

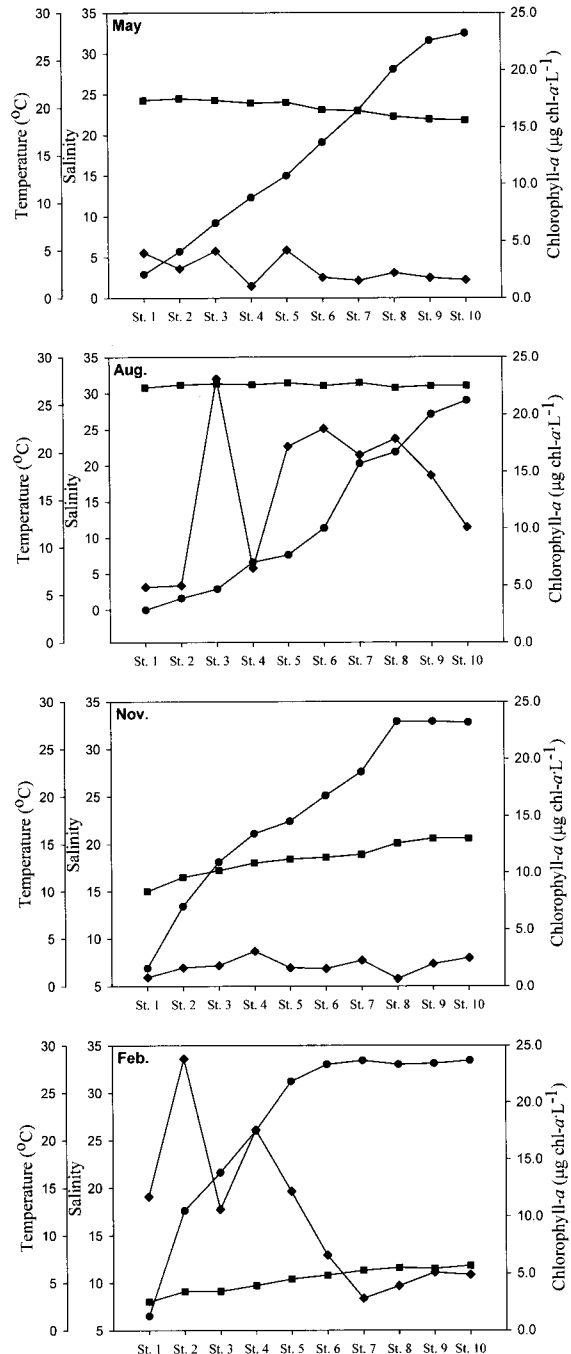


Fig. 2. Seasonal variations in water temperature(■), salinity (●) and chlorophyll-a concentration(◆) in Seomjin River estuary from May 2009 to February 2010.

하구역은 계절에 따른 담수 유입량 변화에 따라 매우 유동적인 환경 특성을 보이는데, 이번 연구수역인 섬진강 하구역에서도 계절에 따른 환경요인의 시·공간적 분포가 다양하게 나타났다. 박 등(2002)은 조사 정점을 지리적으로 고정하지 않고 상류로 이동하면서 염분 경사에 따른 동물플랑크톤 채집을

수행한 바 있다.

이 연구에서는 하구역의 염분 경사를 고려하여 하구역 상류의 정점 1은 염분 0~7 사이로 담수 유입 영향이 비교적 큰 수역으로 설정하였다. 그리고 하구역 하류를 광양만 내측까지 10개의 정점들을 고정시켰으며, 정점 9, 10에서는 연안, 해양 환경 특성이 보이는 염분 32 이상의 수역이 포함되도록 하였다(하계 풍수기는 제외). 앞의 결과에서 제시된 바와 같이 이번 연구에서 설정된 10개 정점은 하구역의 담수와 해수가 혼합되는 염분 경사(염분 범위: 0~33.4)를 잘 반영하는 것으로 판단된다.

### 3.2 동물플랑크톤 종조성

2009년 5월부터 2010년 2월까지 1년간 계절별로 출현한 동물플랑크톤 군집은 총 31개 분류군이 출현하였다. 조사수역에서 출현한 동물플랑크톤 종조성을 살펴보면, 원생동물 1종(*Noctiluca scintillans*), 미동정 해파리류, 미동정 다모류 유생 분류군, 모악류 3종(*Sagitta crassa*, *S. enflata*, *S. nagae*), 지각류 4종(*Along guttata*, *Moina rectirostris*, *Podon leukarti*, *Evadne nordmanni*), 요각류 15종(*Acartia omorii*, *A. hudsonica*, *A. ohtsukai*, *A. pacifica*, *Centropages abdominalis*, *Paracalanus parvus* s.l., *Sinocalanus tenellus*, *Pseudodiaptomus inopinus*, *P. marinus*, *Tortanus dextrilobatus*, *T. derjugini*, *Oithona similis*, *O. davisae*, *Corycaeus affinis*) 및 3개 미동정 분류군, 미동정 미색류, 따개비 유생 및 십각류 유생 등으로 구성되었다. 계절에 따른 동물플랑크톤 출현 분류군수는 5월에는 22개 분류군으로 가장 다양하게 출현하였으며, 8월에는 17개 분류군, 11월 21개 분류군, 2월 13개 분류군으로 동계에 가장 적은 분류군수가 출현하였다. 연중 심진강 하구역에서 지속적으로 출현하는 동물플랑크톤은 모악동물 *Sagitta crassa*와 요각류 *Acartia omorii*, *A. hudsonica*, *Paracalanus parvus* s.l.였으며, 하구역 상류를 중심으로 기수성 지각류 및 기수성 요각류 들의 출현이 빈번하게 나타났다.

### 3.3 계절별 출현 개체수 분포

심진강 하구역의 조사 기간 중 출현한 동물플랑크톤의 정점 평균 개체수는 2,074(8월)~9,346(11월) ind./m<sup>3</sup>로 계절별 평균 출현 개체수는 4,151 ind.·m<sup>-3</sup>이다(Fig. 3). 11월 조사수역에서 정점 평균 9,000 ind.·m<sup>-3</sup> 이상의 많은 개체수가 출현한 것은 우점종인 소형 요각류 *Oithona davisae*와 따개비 유생이 다량 출현하였기 때문이다. 각 계절별 정점에 따른 전체 출현 개체 수 분포를 살펴보면, 5월에는 담수의 영향이 비교적 큰 정점 1부터 4까지는 비교적 적은 개체수가 출현하고 있으며, 하구역의 하류로 갈수록 출현 개체수가 증가하는 양상을 보이고 있다. 풍수기인 8월에는 5월과는 다른 양상을 보이고 있는데 7,000 ind.·m<sup>-3</sup> 이상의 정점별 최대 개체수가 정점 2에서 나타나고 있으며, 하류에 위치한 정점 8에서도 4,000 ind.·m<sup>-3</sup> 이상의 개체수가 출현하여 전체 개체수의 분포 양상이 이원화되는 것을 보였다. 이는 기수성 요각류인 *Sinocalanus tenellus*,

*Pseudodiaptomus inopinus*가 담수의 유입 영향이 큰 하구역 상류에서 집중적으로 출현하였기 때문이며, 하류의 정점 8에서는 소형 요각류 *Oithona davisae*와 따개비 유생이 다량 출현하여 8월에는 정점에 따라 서로 다른 군집 구조를 보였다.

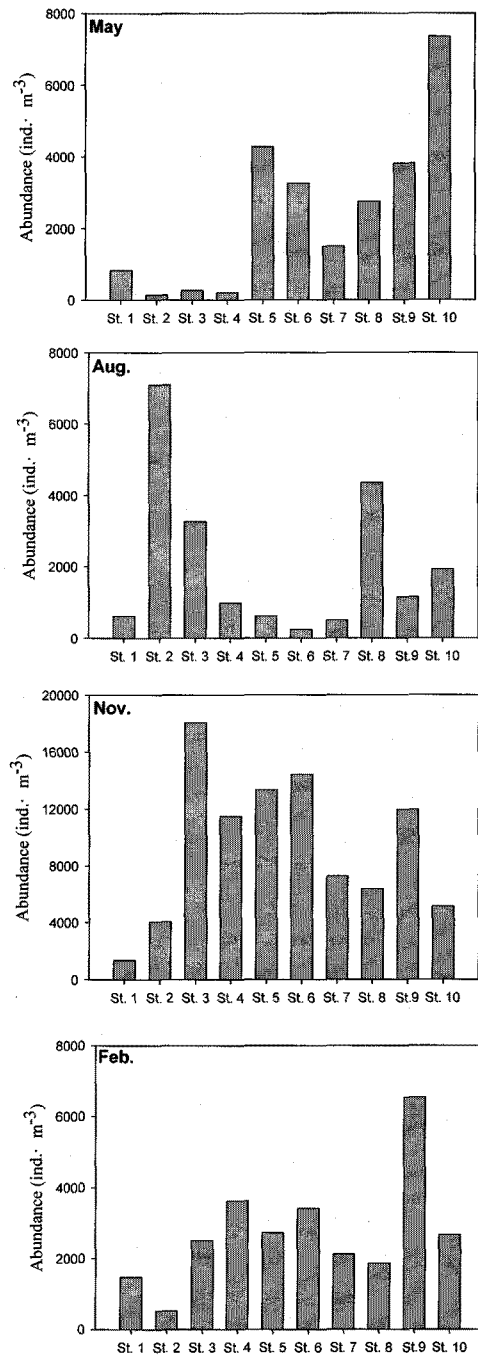


Fig. 3. Spatial variations in zooplankton abundance in Seonjin River estuary from May 2009 to February 2010.

이와 같은 출현 양상으로 계절적으로 강우가 집중되는 8월에 하구역의 동물플랑크톤 군집은 담수 유입량 증가에 따라 군집의 공간적 분포양상이 다른 계절에 비해 확연히 달라지는

양상을 확인할 수 있었다.

11월에는 소형 요각류 *Oithona davisae*와 따개비 유생이 다량 출현하면서 하구역 중, 상류역에서 가장 많은 출현 개체수가 나타났다. 반면 11월에 하구역 하류에서 우점한 종들은 요각류 *Paracalanus parvus* s.l.와 *Oithona similis*이었다. 2월에는 5월과 유사하게 하구역 상류에서 하류로 갈수록 전체 개체수가 증가하는 양상이 나타나고 있는데, 이 시기에 우점한 종들은 요각류 *Paracalanus parvus* s.l., *Oithona similis*, *Acartia omorii*로 주로 연안성 종들로 전체 군집 구조가 결정되었기 때문으로 판단된다. 주요 우점종 분포 양상을 살펴보면 풍수기인 5월, 11월, 2월에는 요각류 *Acartia omorii*, *Paracalanus parvus* s.l., *Oithona davisae*와 따개비 유생이 높은 우점율을 보이고 있는 반면, 풍수기인 하계에는 기수성 요각류인 *Pseudodiaptomus inopinus*가 최우점종으로 출현하면서 전체 개체수의 35.0%를 차지하고 있다. 동물플랑크톤 군집은 다양한 크기 범위를 갖는 생물군으로 구성되어 있어 채집용 네트의 망목 크기에 따라 생물량이 크게 변화할 수 있다. 이번 연구에서는 계절 평균 4,151 ind.·m<sup>-3</sup>의 개체수가 나타난 반면, 김 등(2000)은 망구 30 cm, 망목 55 μm 네트를 사용하여 요각류 군집만을 대상으로 한 출현 개체수 분포가 채집 시기에 따라 평균 117~8,330 ind.·m<sup>-3</sup>의 범위를 보였다. 권 등(2001)은 망구 76 cm, 망목 330 μm의 원추형 네트를 사용하여 조사 시기에 따라 48~218 ind.·m<sup>-3</sup> 범위의 개체수 분포를 제시하였고, 박 등(2002)도 권 등(2001)이 사용한 것과 동일한 네트를 사용하여 계절 평균 1,977 ind.·m<sup>-3</sup>의 개체수가 출현하고 있음을 보고하였다.

### 3.4 수온, 염분에 따른 우점종 개체수 분포

이번 연구 수역은 담수와 해수가 만나는 하구역이기 때문에 수온, 염분에 따라 동물플랑크톤 우점종의 분포 양상이 크게 영향을 받을 수 있는 수역이다. 섬진강 하구역에서 연중 출현하는 요각류 *Paracalanus parvus* s.l.의 수온, 염분에 따른 개체수 분포를 살펴보면(Fig. 4) 최대 개체수는 수온 15℃, 염분 33 부근에서 나타났으며, 염분 25 이하에서는 급격히 개체수가 감소하였다. 요각류 *Acartia omorii*도 이와 유사한 분포 양상을 보이고 있으나 최대 개체수는 *Paracalanus parvus* s.l.에 비해 다소 높은 수온 20℃ 부근에서 출현하였다. 수온 25℃ 이상인 하계에 염분 10 이하에서 집중적으로 출현한 우점동물플랑크톤은 요각류 *Pseudodiaptomus inopinus*와 *Acartia hudsonica*였다. 추계 우점종인 요각류 *Oithona davisae*의 경우, 수온 14℃, 염분 25 부근에서 최대 개체수가 나타났으며, 동시에 우점한 따개비 유생의 경우에도 분포의 중심이 수온 12℃, 염분 18 부근에서 나타났다. 하구역 및 연안역 동물플랑크톤은 소수의 우점종에 의해 많은 생물량이 나타나는 군집 특성을 보이는 것이 일반적이다(Riley, 1967). 따라서 우점종의 분포 양상이 전체 동물플랑크톤 군집의 구조를 결정하는데 매우 중요한 것으로 판단된다. 이번 조사에서 연중 출현하며 비교적 높은 우점율을 보인 요각류 *Paracalanus parvus* s.l.의

최대 개체수는 수온 15℃, 염분 33 부근에서 출현하였는데, 섬진강 하구역에서 기존에 보고된 결과와 아주 유사한 양상을 보였다(박 등, 2002). 하계 섬진강 상류에서 집중적으로 출현한 *Pseudodiaptomus inopinus*도 과거의 결과들과 유사한 분포 양상을 보이고 있다(한 등, 1995; 박 등, 2002). 하계와 추계에 섬진강 하구역에서 우점한 소형 요각류인 *Oithona davisae*는 체장이 작아 일반적으로 사용되어지는 200μm이상의 동물플랑크톤 채집용 네트를 이용한 시료에서는 정량적으로 저평가되어 왔다. 그러나 부영양화된 연안 및 하구역에서 고수온기에 많은 개체수가 출현하는 것으로 알려져 있으며(Uye and Sano, 1998; Youn and Choi, 2003), 이 종은 Fukuyama Bay에서 조사된 연안 요각류 총생산량의 26%를 점유하는 것으로 보고된 바 있고(Uye and Sano, 1998), 북해에서 *Oithona* spp.의 생산량이 전체 요각류 생산량의 13~40%를 점유할 만큼 중요한 생물군으로 알려져 있다(Neilsen and Sabatini, 1996). 저서생물의 유생분류군 중 가장 많은 개체수가 출현한 따개비 유생의 경우, 이번 조사에서는 수온 14℃, 염분 18에서 가장 많은 개체수가 출현하였으나, 기존에 보고된 한강 하구역에서는 최대 개체수가 수온 18.2℃, 염분 26.5에서 출현하여 다소 차이가 있었다(Youn and Choi, 2008). 그러나 인천 연안에서 보고된 따개비 유생의 최대 출현시기가 추계인 것과 이번 조사 결과는 일치한다(Youn and Choi, 2003).

### 3.5 동물플랑크톤 군집의 다양성 지수 및 집괴 분석

조사해역의 동물플랑크톤 정량자료를 이용하여 계산된 동물플랑크톤 군집의 계절별 종 다양성 지수 분포는 동계인 2월에 가장 높은 정점 평균 1.64의 다양성 지수를 보였으며, 풍수기인 8월에 가장 낮은 1.07을 나타냈다. 이 외에 5월에는 정점 평균 1.57이 나타났으며, 11월에는 1.35였다(Fig. 5).

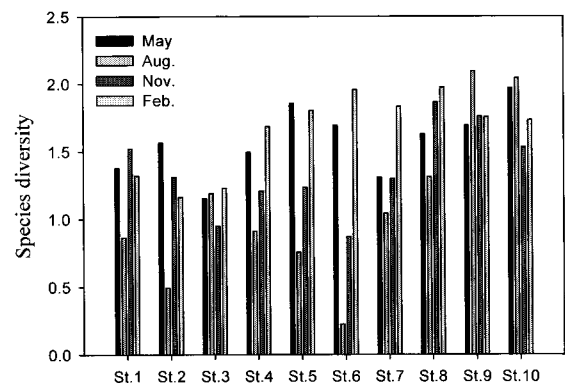


Fig. 5. Seasonal variations of species diversity index in Seomjin River estuary.

기존 보고에서도 섬진강 하구역의 동물플랑크톤 다양성 지수는 풍수기에서 풍수기 혹은 갈수기로 갈수록 증가하는 양상을 보인다고 보고된 바 있다(권 등, 2001). 이러한 다양성 지수 분포 양상은 풍수기에 소수의 기수종과 낮은 염분에 대한

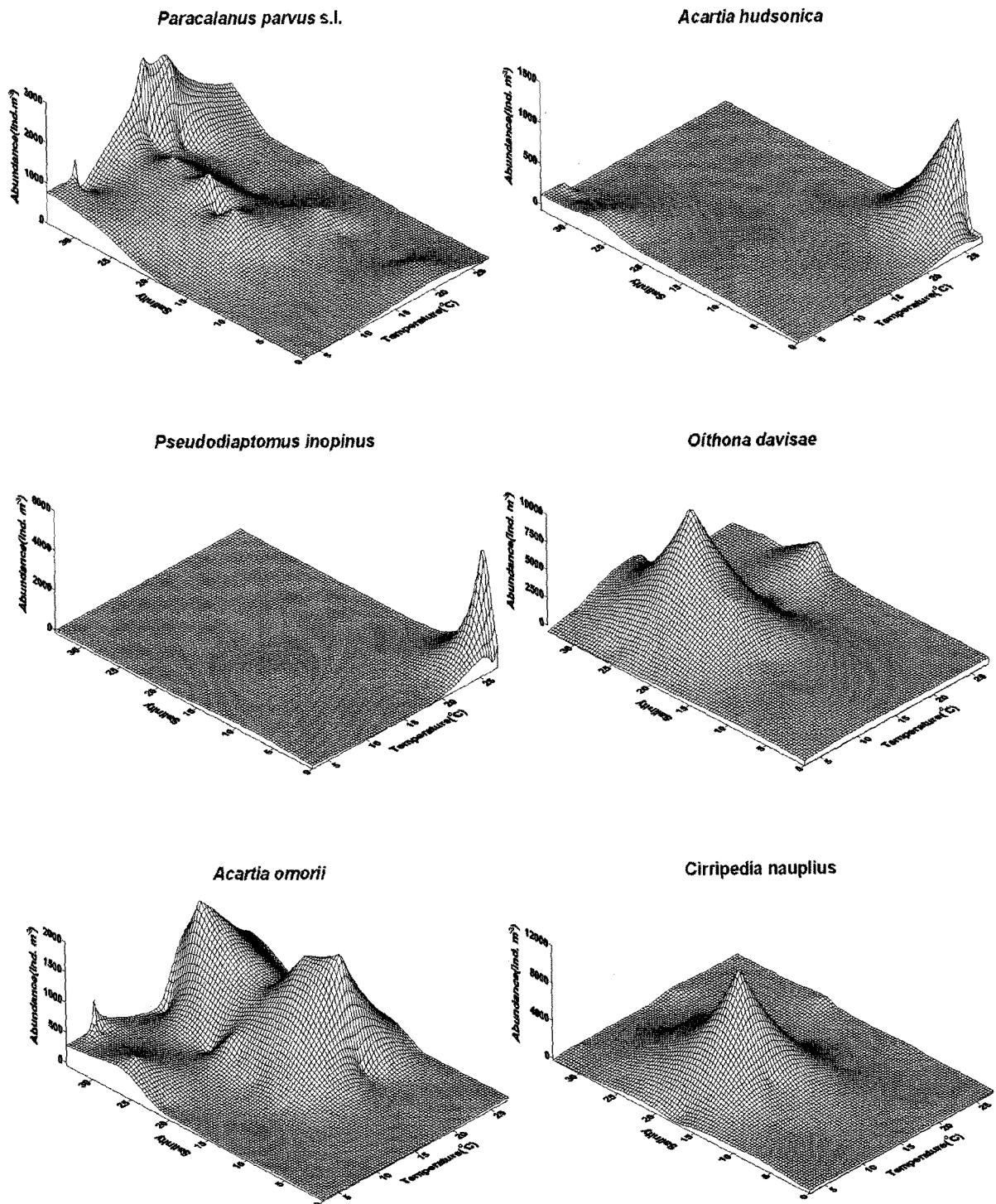


Fig. 4. Relationship among water temperature, salinity and the abundance of dominant zooplankton in Seomjin River estuary.

내성이 강한 일부 연안종들이 하구역 동물플랑크톤 군집의 대부분을 차지하면서 적은 종수로 높은 상대 개체수 분포를 보이기 때문에 판단된다. 진해만에서 기존에 보고된 동물플랑크톤 다양성 지수는 0.20~0.83의 범위였으며(강 등 1996), 서등(2002)은 가막만에서 계절별 0.50~1.37의 다양성 지수를 보고하였다.

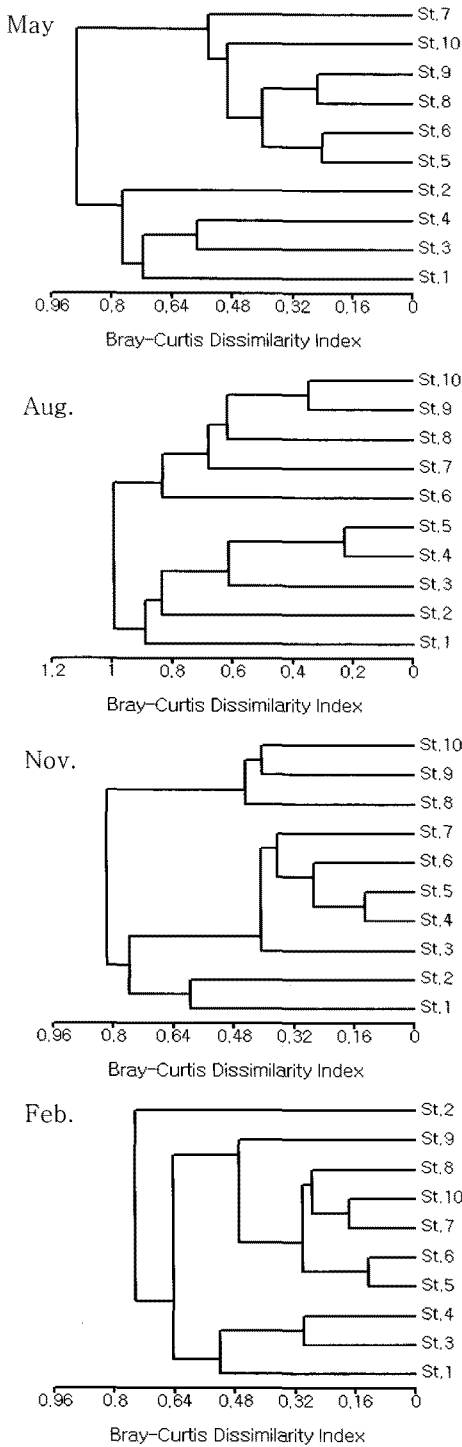


Fig. 6. Results of cluster analysis calculated from zooplankton quantitative data in Seonjin River estuary.

정점별 동물플랑크톤 다양성 지수 분포를 살펴보면, 전체적으로 다소 불규칙적이기는 하지만 하구역 상류에서 하류로 갈수록 다양성 지수가 증가하는 양상을 볼 수 있다(Fig. 5). 특히 8월과 2월에 이러한 경향이 뚜렷하게 나타나고 있는데 이는 하구역 상류의 기수-담수성 동물플랑크톤 군집은 소수종에 의해 높은 우점율이 나타나고 있기 때문으로 사료된다. 동물플랑크톤 정량 자료로부터 분류군별 개체수를 이용하여 집괴 분석을 통해 정점간의 유사도를 계산하여 수상도로 도식화하면, 전 계절에 걸쳐 조사해역은 대체로 2개의 그룹으로 나누어지는 것을 볼 수 있다(Fig. 6). 5월에는 염분 15 이하인 기수역인 정점 1, 2, 3, 4가 제1그룹으로 나뉘었고 그 외 정점들이 제2그룹으로 나뉘었다. 8월 풍수기에는 염분 10 이하인 담수-기수역 정점 1, 2, 3, 4, 5가 제1그룹으로 나뉘었고, 나머지 정점들이 제2그룹으로 그룹핑 될 수 있다. 11월에는 5월과 유사하게 염분 15 이하인 기수역인 정점 1, 2가 제1그룹으로 나뉘었고, 나머지 정점들이 제2그룹이었다. 2월에도 염분 18 이하인 1, 2가 제1그룹으로 나뉘었고, 나머지 정점들이 제2그룹이었다. 동물플랑크톤 정량 자료를 이용한 정점 간 유사도 분석에서도 평수기에는 기수역과 연안역으로 구분되어지는 해역 특성이 나타났으며, 풍수기에는 담수의 유입 영향 강화로 인하여 담수-기수역과 연안역으로 구분되어지는 특징이 분명하게 나타났다.

3.6 우점 요각류의 생체량, 성장률 및 생산력 분포

섬진강 하구역의 우점 요각류들을 대상으로 한 계절별 평균 생체량 분포는 1.60(5월)~9.83(8월) mgC·m<sup>-3</sup>의 범위로 하계에 가장 많았고, 추계, 동계, 춘계 순으로 생체량의 계절적 분포가 나타났다(Fig. 7).

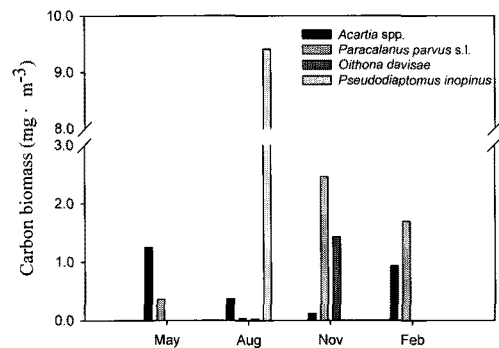


Fig. 7. Seasonal variations in biomass of dominant copepods in Seonjin River estuary from May 2009 to February 2010.

이번 조사에서는 4개 우점종들을 대상으로 측정된 생체량으로 앞서 동물플랑크톤의 전체 개체 수 분포의 계절적 분포와는 차이가 있으나 이번 조사에서 사용된 4개 우점 요각류의 전체 개체 수 점유율이 계절에 따라 36.1~67.9%의 점유율을 보였다. 계절적인 출현 개체 수 분포에서는 11월에 가장 높은 값을 보였으나 이 시기에 최우점종인 *Oithona davisae*는 전체

부 길이가 0.5mm 이하의 소형 요각류인 반면, 최대 생체량을 보인 8월에 우점한 *Pseudodiaptomus inopinus*의 평균 개체별 탄소량은  $4.5 \mu\text{gC}\cdot\text{ind}^{-1}$ 으로 동시기에 출현한 다른 우점종에 2~4배 이상 높기 때문에 하계에 가장 많은 계절별 생체량이 나타났다.

이번 조사수역에서 우점한 요각류 중 *Acartia* spp.와 *Paracalanus parvus* s.l.의 경우, 난을 수중으로 산란하는 요각류들로 연중 조사수역에서 지속적으로 비교적 높은 우점율을 보이며 출현하였다. 일일 난생산력으로부터 계산된 *Acartia* spp.의 계절별 정점 평균 성장률 변화를 보면, 5월 수온  $19^\circ\text{C}$  일 때 연중 최대의  $0.21 \text{ day}^{-1}$ 의 값을 보였으며, 8월 수온이  $27^\circ\text{C}$  까지 상승하였을 때에는 5월보다 감소한  $0.09 \text{ day}^{-1}$ 로 측정되었고 이후 11월  $0.20 \text{ day}^{-1}$ , 2월  $0.17 \text{ day}^{-1}$ 의 값을 보였다. *Paracalanus parvus* s.l.의 경우 계절별 평균 성장률 최대값이 5월  $0.17 \text{ day}^{-1}$ 로 나타났고, 8월에는  $0.11 \text{ day}^{-1}$ , 11월에는  $0.12 \text{ day}^{-1}$ , 그리고 2월에  $0.13 \text{ day}^{-1}$ 로 나타났다. 수온 종속적인 보고된 실험식으로부터 계산된 *Oithona davisae*의 일일 성장률은 8월에 최대  $0.43 \text{ day}^{-1}$ 이었으며, 8월에만 출현한 *Pseudodiaptomus inopinus*의 성장률은  $0.25 \text{ day}^{-1}$ 로 계산되었다(Fig. 8).

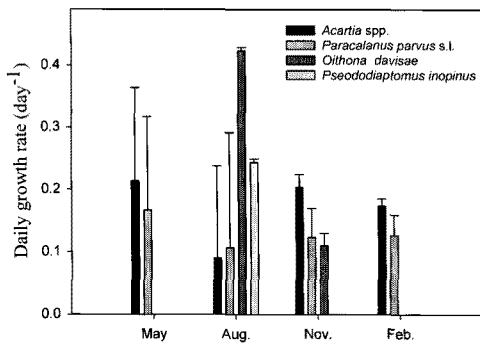


Fig. 8. Seasonal variations in growth rates of dominant copepods in Seomjin River estuary from May 2009 to February 2010.

현장 성장률 측정에 이용된 *Acartia* spp.와 *Paracalanus parvus* s.l.는 연안 수역에서 주로 출현하는 종들로 하구역의 염분 경사에 따른 성장률 차이가 크게 나타났다. *Acartia* spp.의 경우 염분이 10 이하(5월과 8월)로 낮은 하구역 상류에서는  $0.05 \text{ day}^{-1}$  이하의 매우 낮은 성장률을 보였으며(Fig. 9), *Paracalanus parvus* s.l.의 성장률은 *Acartia* spp.보다도 낮은  $0.01 \text{ day}^{-1}$  이하의 낮은 값을 보였다. 반면 11월과 2월에는 갈수기로 담수 유입량이 감소하여 하구역 상류까지 염분 18 이상의 값이 관측되었고 이 때 *Acartia* spp.의 성장률은 하구역 하류(염분 32 이상)의 성장률과 유의적으로 차이가 없는 값들이 나타났다. 이 시기에서 *Paracalanus parvus* s.l.의 성장률은 하구역 상류에서의 값들이 중·하류에서 측정된 값들보다 유의적으로 낮게 나타났으나( $p < 0.05$ ), 그 차이가 5월과 8월에 비해 크지 않았다(Fig. 10). 하구역 하류에서 측정된 *Acartia* spp.의

성장률은 5월  $0.31 \text{ day}^{-1}$ 로 연중 최고치를 보였으며, 다른 조사 시기에서도 중·상류에서 측정된 값들보다 높은 성장률이 측정되었다. 이러한 양상은 *Paracalanus parvus* s.l.에서도 유사하게 나타나는데 *Paracalanus parvus* s.l.의 최대 성장률은 8월에  $0.32 \text{ day}^{-1}$ 로 나타났다.

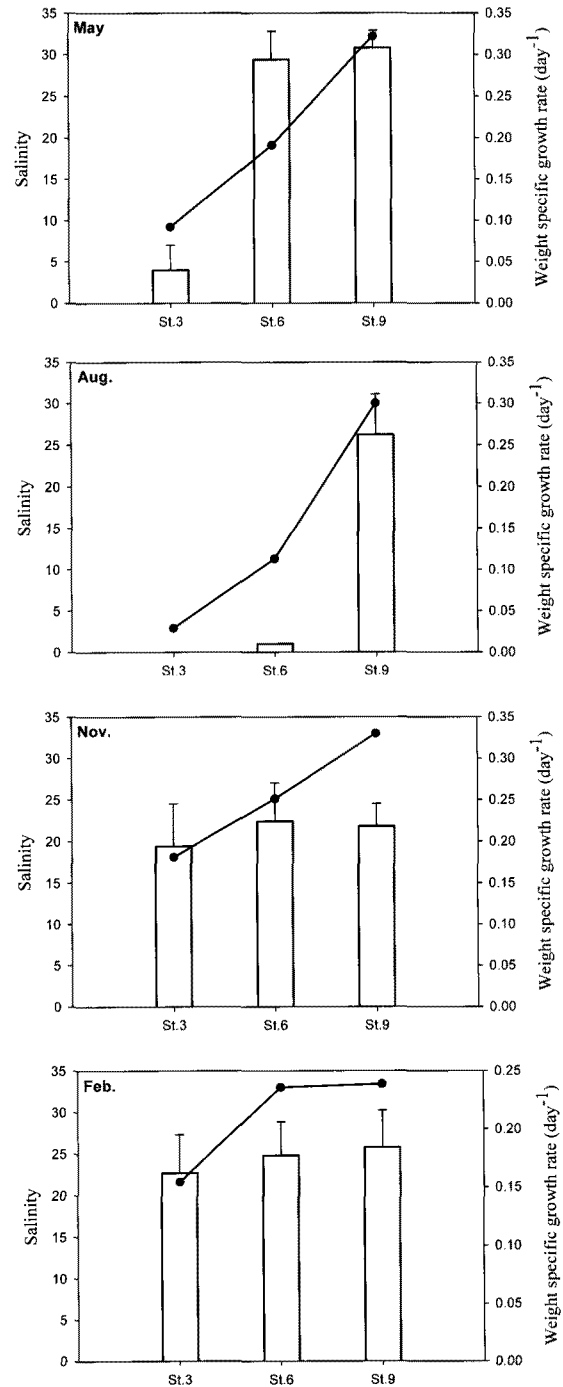


Fig. 9. Seasonal variations in salinity(line) and growth rates(bar) of *Acartia* spp. in Seomjin River estuary from May 2009 to February 2010.



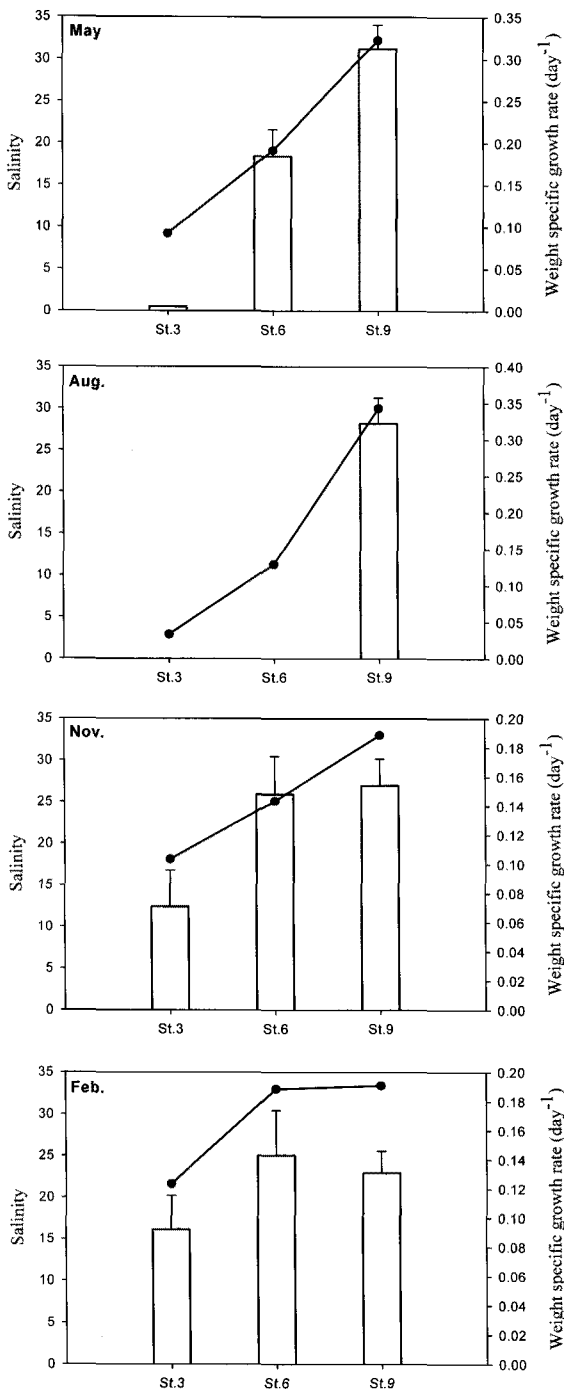


Fig. 10. Seasonal variations in salinity(line) and growth rates(bar) of *Paracalanus parvus* s.l. in Seomjin River estuary from May 2009 to February 2010.

현장 성장률 측정에 이용된 *Acartia* spp.와 *Paracalanus parvus* s.l. 모두 최대 성장률이 나타나는 수역은 염분 25 이상의 중, 하류역으로 저염분에 따른 성장률 저해 현상이 발생되고 있음을 알 수 있다. 저염분에 의한 영향이 적은 하류역 하류에서 측정된 두 종의 계절별 성장률 변화를 보면 대체로 고수온기에 높은 성장률이 나타나는 수온 종속적인 성장 양상

을 보이는 것으로 나타났다.

Youn and Choi(2007)는 경기만에서 *Acartia hongii*의 현장 성장률이 최대 0.33 day<sup>-1</sup>로 보고한 바 있으며, Kimmerer and Mckinnon(1987)는 호주 Westernport Bay에서 *Acartia tranteri*의 성장률이 0.02~0.26 day<sup>-1</sup>라고 하였다. 일본 연안 내만역에서 보고된 *Acartia omorii*의 일일 성장률은 0.01~0.38 day<sup>-1</sup>이었다(Liang and Uye, 1996a). 이번 연구에서 현장 측정된 *Acartia* spp.의 성장률은 기존에 보고된 Genus *Acartia*에 속하는 종들의 성장률과 유사한 범위를 가지고 있다. 특히 춘계와 하계에 하구역 하류에서 측정된 성장률은 기존 보고된 최대 성장률에 근접하는 성장률을 보이고 있다. 이는 섬진강 하구역의 먹이 조건이 요각류의 성장률을 제한하는 요인으로 작용하지 않음을 보여주는 증거라고 여겨진다. 이러한 양상은 이번 연구에서 같이 제시한 *Paracalanus parvus* s.l.의 성장률도 유사하게 나타난다. Liang and Uye(1996b)는 일본의 부영양화된 연안역에서 *Paracalanus* sp.의 성장률이 최대 0.33 day<sup>-1</sup>에 이른다고 보고한 바 있다.

동물플랑크톤은 표영생태계 내에서 일차생산자인 식물플랑크톤에 의해 형성된 유기물을 먹이망의 상위 단계로 올려 보내는 역할을 담당한다. 따라서 일차 생산자를 소비하는 일차 소비자인 동시에 상위 단계 생물의 먹이가 되는 이차 생산자인 것이다. 이러한 생태학적 역할 외에도 해산 동물플랑크톤은 대부분의 어류 및 치어에 가장 중요한 먹이원으로 이용되고 있어 지속가능한 수산생산력 추정을 위하여 매우 중요한 역할을 담당한다. 이러한 중요성 때문에 시작된 동물플랑크톤 생산력 연구는 전 세계적으로 20세기 중반부터 본격적으로 이루어져 왔다(Clarke, 1946). 우점 요각류의 생체량과 성장률로부터 계산된 섬진강 하구역의 계절별 일일 생산력 변화는 5.70~19.44 mg C·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup>의 범위로 계절 평균 9.58 mg C·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup> 값이 나타났다(Fig. 11).

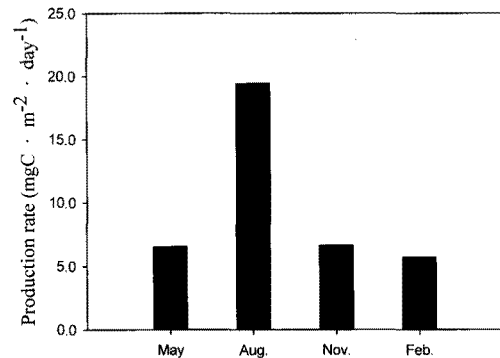


Fig. 11. Seasonal variations in daily production rates of dominant copepods in Seomjin River estuary from May 2009 to February 2010.

정점별 일일생산력 분포는 하계를 제외한 나머지 계절에서 상류에서 하류로 갈수록 생산력이 높아지는 양상이 지속적으로 나타났으며, 하계에는 기수종인 *Pseudodiaptomus inopinus*가

하구역 상류에서 집중적으로 분포하면서 상류로 갈수록 높아지는 양상이 나타났다(Fig. 12). 이번 연구 결과, 우점 요각류들의 일일 생산력으로부터 계산된 섬진강 하구역의 연간 생산력은  $3.49 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$  이었다. 기존에 우리나라에서 보고된 동물플랑크톤 생산력 자료와 비교해 보면 Shim and Yun(1990)은 P/B ratio를 이용한 생산력 계산을 통해 천수만에서 약  $1.34 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 의 값을 보고한 바 있으며, Youn(2004)은 경기만에서 우점종 *Acartia hongii*를 대상으로 경기만 내측에서  $3.1 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ , 중간 수역  $2.2 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ , 외측 수역에서  $0.7 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 를 보고한 바 있다.

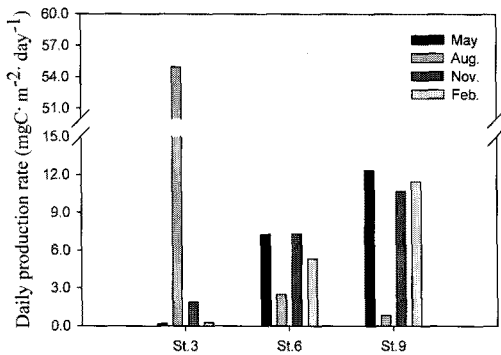


Fig. 12. Spatial variations in seasonal production rates in Seomjin River estuary from May 2009 to February 2010.

기존에 보고된 결과와 이번 조사 결과를 비교해 보면, 섬진강 하구역의 생산력이 경기만 내측과 유사한 생산력을 보이고 있으며 천수만보다는 2.5배 이상 높은 생산력을 보이는 곳으로 나타났으며, 경기만 외측 수역과 비교해 보면 약 5배 이상 높은 생산력을 보였다.

#### 4. 결론

이 연구는 섬진강 하구역의 계절별 동물플랑크톤 분포 특성과 주요 요각류 우점종의 생산력을 파악하기 위하여 2009년 5월부터 2010년 2월까지 계절별로 섬진강 하구역에서 염분경사를 고려한 10개 정점을 대상으로 현장 조사와 요각류 생산력 실험을 실시하였다. 조사기간 동안 출현한 동물플랑크톤 군집은 총 30개 분류군이 출현하였으며, 계절별 동물플랑크톤의 평균 출현 개체수는 2,074(하계)~9,346(추계) ind. · m<sup>-3</sup>로 계절별 평균 출현 개체수는 4,151 ind. · m<sup>-3</sup>이다. 염분 경사에 따른 동물플랑크톤 군집의 공간적 분포 양상은 평수기의 경우, 연안성 요각류들이 하구역 동물플랑크톤 군집의 대부분을 차지하면서 상류에서 중·하류로 갈수록 개체수가 증가하는 양상을 보였다. 반면 풍수기인 하계에는 기수성 요각류 및 지각류가 하구역 상류에서 집중적으로 출현하면서 중·상류에서 많은 개체수가 출현하였고, 하류에서는 요각류 위주의 연안성 군집이 중심이 되어 하구역 동물플랑크톤 군집구조가 조사 위치에

따라 크게 차이가 나타나는 것을 볼 수 있었다. 그리고 계절에 따라 추계에 따가비의 유생이 우점하는 양상도 확인되었다.

또한 이 연구에서도 섬진강 하구역의 주요 우점종을 대상으로 이들의 성장률과 생체량으로부터 얻어진 자료를 바탕으로 생산력을 추정하였다. *Pseudodiaptomus inopinus*, *Oithona davisae*의 성장률은 기존 문헌 자료를 이용하여 얻었으며, 현장실험을 통해 얻어진 *Acartia* spp.의 계절별 최대 성장률은  $0.31 \text{ day}^{-1}$ 이었으며, *Paracalanus parvus* s.l.의 최대 성장률은  $0.32 \text{ day}^{-1}$ 이었다. 또한 이 두 종의 성장률은 시·공간적으로 수온과 염분의 변화에 의해 크게 조절되는 양상이 나타났다. 4개 우점 요각류를 대상으로 계산된 섬진강 하구역의 연간 요각류 생산력은  $3.49 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 비교적 높은 생산력을 보였다. 이처럼 섬진강 하구역의 동물플랑크톤 생산력이 높은 것은 비교적 높은 식물플랑크톤 현존량을 바탕으로 다양한 염분 범위에 따른 연안종과 기수종의 다량 출현 때문으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 논문의 국립수산물과학원(하구어장 실효성 평가 및 관리전략 개발, RP-2010-ME-050) 연구과제의 일환으로 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

- [1] 강영실, 박주석, 이삼석, 김학균, 이필용(1996), 진해만 수질 환경과 동물플랑크톤 군집 및 요각류 분포 특성, 한국수산학회지, 제29권, 제4호, pp. 415-430.
- [2] 권기영, 이평강, 박철, 문장호, 박미옥(2001), 섬진강 하구역에서 염분경사에 따른 동·식물플랑크톤의 현존량 및 종조성, 한국해양학회지 『바다』, 제6권, pp. 93-102.
- [3] 김광수, 이종빈, 이관식, 강장원, 유형빈(2000), 섬진강 하류계의 요각류 군집에 관한 생태학적 연구, 한국육수학회지, 제33권, pp. 176-186.
- [4] 박철, 이평강, 양성렬(2002), 계절과 염분변화에 따른 섬진강 하구역 동물플랑크톤의 분포 변화, 한국해양학회지 『바다』, 제7권, pp. 51-59.
- [5] 서해립, 서호영, 차성식(1991), 만경 동진강 하구계의 동물플랑크톤 분포와 염분, 한국해양학회지, 제26권, pp. 181-192.
- [6] 서호영, 이인태, 윤양호, 최상덕, 이삼노(2002), 가막만에 출현하는 동물플랑크톤의 종조성과 계절별 출현 양상, 한국환경생물학회지, 제22권, 제2호, pp. 118-129.
- [7] 한동훈, 홍성윤, 마채우(1995), 득량만 동물플랑크톤의 분포, 한국수산학회지, 제28권, 제5호, pp. 517-532.
- [8] Clarke, G. L.(1946), Dynamics of production in a marine area, Ecol. Monogr., Vol. 16, pp. 321-335.
- [9] Huntley, M. E. and M. D. G. Lopez(1992), Temperature-

- dependent production of marine copepods : a global synthesis, *Am. Nat.*, Vol. 140, pp. 201-242.
- [10] Kang, H. K., Y. J. Kang and C. Park(2007), Production of *Acartia omorii* (Copepoda: Calanoida) in Ilkwang Bay, Southeastern coast of Korea, *J. Mar. Sci.*, Vol. 67, pp. 236-244.
- [11] Kim, S., M. S. Han, K. I. Yoo, K. Lee and Y.K. Choi(2002), Zooplankton and phytoplankton dynamics with the construction of river mouth dam in Kum River estuary, Korea. *Korean J. Limnol.*, Vol. 35, pp. 1411-144.
- [12] Kimmerer, W. J. and A. D. Mckinnon(1987), Growth, mortality and secondary production of the copepod *Acartia tranteri* in Westport Bay, Australia, *Limnol. Oceanogr.*, Vol. 32, pp. 14-28.
- [13] Liang, D and S. Uye(1996a), Population dynamics and production of the planktonic copepods in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. II. *Acartia omorii*, *Mar. Biol.*, Vol. 125, pp. 109-117.
- [14] Liang, D and S. Uye(1996b), Population dynamics and production of the planktonic copepods in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. III. *Paracalanus* sp., *Mar. Biol.*, Vol. 127, pp. 219-227.
- [15] Liang, D and S. Uye(1997), Seasonal reproduction of the egg-laying calanoid copepod *Pseudodiaptomua marinus* in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan, *Mar. Biol.*, Vol. 128, pp. 409-414.
- [16] Nielsen, T. G. and M. Sabatini(1996), Role of cyclopoid copepods *Oithona* spp. in North Sea plankton communities, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 139, pp. 79-93.
- [17] Riley, G. A.(1967), The plankton of estuary, edited by Lauff, G.R., The Horn-Shafer Company, pp. 316-326.
- [18] Shim, J. H. and K. H. Yun(1990), Seasonal variation and production of zooplankton in Chonsu Bay, Korea, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, Vol. 25, pp. 229-239.
- [19] Shin, K. S.(1997), Natural ingestion rate and grazing impact of calanoid copepod for phytoplankton in the Yellow Sea and East China Sea, Inha Univ., Ms. Thesis, p. 142.
- [20] UNESCO(1976), Zooplankton fixation and preservation, UNESCO Press, p. 350.
- [21] 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.*, Vol. 163, pp. 37-44.
- [22] Yoo, K. I., B. J. Lim and C. I. Choi(1987), Ecological studies on zooplankton community in lake Yongsan, Korea, *Korean J. Limnol.*, Vol. 20 pp. 61-72.
- [23] Yoo, K. I. and B. J. Lim(1991), Seasonal variation in the zooplankton community structure of the Lower Han River system, *Korean J. Limnol.*, Vol. 24, pp. 85-91.
- [24] Youn, S. H.(2004), Spatial and temporal distribution of zooplankton community and production of copepod *Acartia hongii* in Kyeonggi Bay, Korea, Inha Univ., Ph.D thesis, p. 306.
- [25] Youn, S. H. and J. K. Choi(2003), Seasonal changes in zooplankton community in the coastal waters off Incheon, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, Vol. 30, No. 3, pp. 111-121.
- [26] Youn, S. H. and J. K. Choi(2007), Egg production of copepod *Acartia hongii* in Kyeonggi Bay, Korea, *J. Mar. Sci.*, Vol. 67, pp. 217-224.
- [27] Youn, S. H. and J. K. Choi(2008), Distribution pattern of zooplankton in the Han River estuary with respect to tidal cycle, *J. Ocean Sci.*, Vol. 43, No. 3, pp. 135-146.

원고접수일 : 2010년 10월 06일

원고수정일 : 2010년 10월 14일 (1차)

: 2010년 11월 15일 (2차)

게재확정일 : 2010년 12월 23일