

영광 와탄천의 중형동물플랑크톤 군집동태

이 동 주 · 김 세 화¹ · 이 원 철*한양대학교 생명과학과, ¹용인대학교 생명과학과

Mesozooplankton Community Dynamics in Watan Stream, Yeonggwang, Korea

Dong Ju Lee, Saywa Kim¹ and Wonchoel Lee*

Department of Life Science, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

¹Department of Biological Science, Young-In University, Gyeonggi 449-714, Korea

Abstract – Mesozooplankton dynamics were studied in Watan stream which flows into the Yellow Sea in Yeonggwang, Korea. Samples were collected at eight stations bimonthly during April 2006~February 2007. Mesozooplankton community was consisted of 45 taxa (8 cladocerans and 29 copepods). The abundance varied between the highest one (31~127,587 indiv. m⁻³) in October, and the lowest (12~233 indiv. m⁻³) in December. Diversity index showed to be the highest value in July (0.671) and the lowest one in August (0.368). A euryhaline species, *Acartia hongii* was dominant in brackish water stations (the highest abundance at 13.4°C and 14.1 psu). In freshwater stations of the upstream, two cladoceran species of *Polyphemus pediculus* and *Moina weismanni* occurred in high abundance in August. Dominant taxa of copepod were clustered to two or three groups mainly due to the difference of salinity gradients. Spatial distribution of mesozooplankton revealed to be determined by salinity gradients which were affected by opening and closing of the artificial dam in Watan stream.

Key words : mesozooplankton, salinity, copepod, Watan stream

서 론

인공적인 하구둑과 수문이 있는 하구역에서는 비정기적인 담수의 유입으로 염분변화가 일정하지 않다. 서해로 유입되는 와탄천 하구에는 하천의 범람과 유입되는 토사를 막고 유량 조절과 농업용수 확보를 위한 배수갑문(법백교)이 건설되어 있다. 조사 수역의 동물플랑크톤 시공분포는 불규칙한 환경 변화로 인하여 복잡한 변화 양상을 보이며, 이러한 환경에 적응된 소수종이 출현하

여 다양성이 낮은 경향을 보인다(Miller 1983; Kimmerer 1993; 환경부 2005). 염분은 동물플랑크톤의 공간적 분포에 가장 큰 영향을 미치고(Rippingale and Hodgkin 1977; Jones *et al.* 1990; 서 등 1991), 수온 변화는 계절적 출현 요인이다(Calbet *et al.* 2001; Lo and Hwang 2004; Jamet *et al.* 2005). 따라서 환경 변화에 따른 동물플랑크톤의 분포 양상은 강물의 유입에 의하여 하구역에서 외만 쪽으로 변화하는 염분에 크게 영향을 받게 된다(Jones *et al.* 1990). 이와 같이 하구역에서는 기수 환경에서 높은 생식활동을 유지할 수 있는 개체군만이 남게 되어, 기수생태계 고유의 플랑크톤 군집이 형성되고(Jefferies 1962), 복잡한 환경 변화에 적응하며 개체군을 유지하게 된다(Hough

* Corresponding author: Wonchoel Lee, Tel. 02-2220-0951, Fax. 02-2296-7158, E-mail. wlee@hanyang.ac.kr

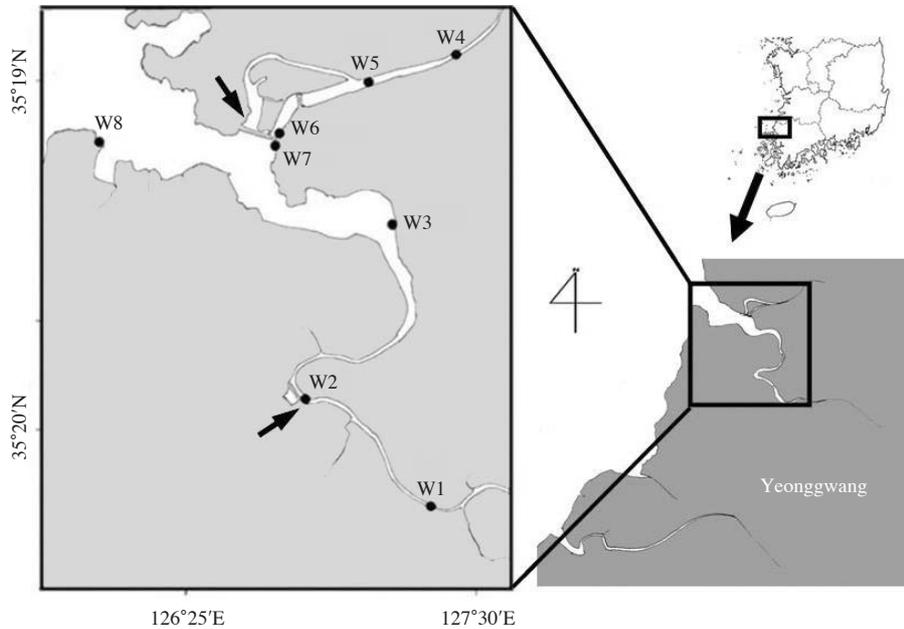


Fig. 1. The sampling stations in Watan stream, Yeonggwang, Korea (Hydrostatic Dam arrowed).

and Naylor 1991; Gupta *et al.* 1994; Morgan *et al.* 1997; Ueda *et al.* 2004).

본 연구에서는 와탄천 하구역에 출현하는 중형동물플랑크톤의 종조성과 출현량을 파악하고, 계절적인 차이에 따른 수온과 염분의 변화가 주요 우점종들의 분포에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다.

재료 및 방법

중형동물플랑크톤 채집은 와탄천, 구암천 중심으로 연결되는 법성포항, 모래미 해수욕장 등 8개 정점에서 2006년 4월, 7월, 8월, 10월, 12월, 2007년 2월의 6회에 걸쳐 각 정점별로 매 회 동일한 시간에 실시하였다 (Fig. 1). 채집은 NORPAC 플랑크톤네트(망목 300 μ m, 망구 직경 30 cm)를 이용하여 표층을 10m씩 끌어서 수평채집을 하였다. 수량이 적은 경우에는 5m, 2회 또는 1m, 10회를 반복하여 진행하였다. 조사정점의 시료는 모두 현장에서 70% 알코올로 고정하였다. 조사지역의 수온과 염분은 다목적 수질측정기 (YSI-556)을 이용하여 측정하였다.

법성포항은 와탄천 지류의 연장이고 (이와 조 2005) 구암천은 와탄천의 지류인데 염분에 따라 정점 W1~W4은 담수지역, 정점 W5~W8은 기수지역으로 분류하였다.

시료는 실험실에서 모든 시료를 계수하거나, 전체 시료 중 1/4 또는 1/10을 취하여 동물 플랑크톤 계수 판에 넣고 40~90배의 고배율 해부현미경 (Olympus SZX12)을

사용하여 종별로 계수하였고, 그 후 1m³당 개체수로 환산하였다.

중준위 동정을 위하여 lactophenol을 떨어뜨린 H-S 슬라이드 위에서 외부 형태 또는 상세 관찰을 위해 해부핀으로 해부한 후 100~1,000배의 광학현미경 (Olympus BX 51)으로 관찰하였다. 분류 동정은 Boxshall and Halsey (2004), Huys *et al.* (1996), 장과 민 (2005)에 따랐다.

동물플랑크톤 군집의 종다양성을 비교 분석하기 위하여 Shannon-Weaver의 종다양성지수 (H')를 구하고 요각류 출현종에 따른 분포양상을 비교하여 유사도지수 (Bray and Curtis 1957)를 토대로 온도와 염분과의 상관관계를 파악하기 위해 SPSS 15.0.0 (SPSS)에서 Spearman계수를 이용하여 양측검정으로 비가중 산술평균 (UPGMA)을 사용하여 수상도로 나타내었다.

결 과

수온은 5.2~30.0°C로 2월에 가장 낮고 8월에 가장 높았으며 정점간 수온 차이는 연중 2.0°C 이하로 나타났다. 염분은 담수지역인 정점 W1~W4에서 0.0~0.5 psu, 그 외의 정점에서는 0.0~32.3 psu로 나타나 조사시기에 따른 차이보다는 정점에 따른 차이가 컸다 (Fig. 2). 수문이 있는 정점 W5와 해수의 영향이 큰 정점 W6은 염분의 변화폭이 컸는데, 12월에는 폭설로 인한 수온 및 염분의 급격한 하락이 관찰되었다.

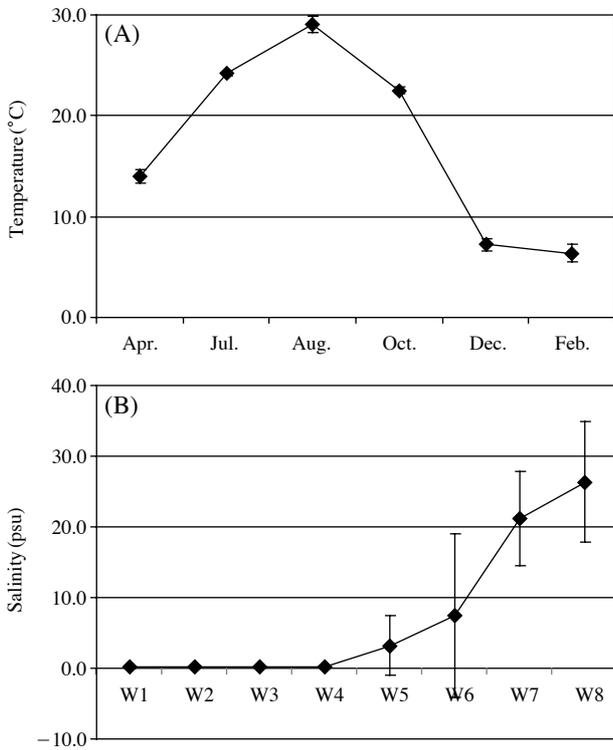


Fig. 2. Water temperature (A) and salinity (B) in Watan stream during 2006~2007.

중형동물플랑크톤은 총 45개 분류군이 출현하였으며 중준위 동정은 30속 36종으로 요각류 29종 (Calanoida목: 11종, Cyclopoida 목: 12종, Harpacticoida 목: 6종), 지각류 7종이었다 (Table 1). 출현분류군의 수는 4월에 17개 분류군 (요각류 8종)이 출현하여 가장 다양하였고, 8월에 10개 분류군 (요각류 4종)으로 가장 빈약하였다.

중다양성 지수는 연중 유사하게 나타났지만, 7월 (0.671)에 가장 높았고 8월 (0.368)에 가장 낮았으며 평균 0.448이었다 (Table 2).

중형동물플랑크톤의 평균 출현량은 $5,900 \text{ indiv. m}^{-3}$ 이었으며 8월에 정점 W2에서 $85,728 \text{ indiv. m}^{-3}$ 로 가장 높았고, 4월에 정점 W5와 8월에 정점 W5, W6에서는 분포하지 않았다 (Fig. 3). 10월 정점 W6, 12월 정점 W1, W5, W6 그리고 2월 정점 W2~W8에서는 요각류 (유생 포함)만이 출현하였고 지각류는 8월과 10월에 담수지역에서 높은 점유율을 보였는데 10월 정점 W3에서 97.8%, W4에서 80.0%, 8월 정점 W1에서 86.8%, 정점 W4에서 83.0%로 우점하였다. 염분의 변화가 큰 정점 W5, W6에서는 연중 출현분류군수가 극히 적었다. 12월과 2월에는 수온 하강에 따라 출현량이 극감하였다.

4월의 정점별 출현량은 정점 W2 ($1,261 \text{ indiv. m}^{-3}$)와 정점 W6 ($1,385 \text{ indiv. m}^{-3}$)에서 높게 나타났다. 담수지역

Table 1. The list of mesozooplankton identified in Watan stream

Species	Month					
	Feb.	Apr.	Jul.	Aug.	Oct.	Dec.
Copepoda						
CALANOIDA						
<i>Acartia erythraea</i>		○	○	○		○
<i>Acartia hongii</i>	○		○			
<i>Acartia tumida</i>		○				
<i>Acrocalanus gibber</i>	○	○				○
<i>Calanus sinicus</i>		○				
<i>Epilabidocera longipedata</i>						
<i>Labidocera euchaeta</i>	○				○	
<i>Paracalanus crassirostris</i>	○	○			○	
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	○				○	
<i>Pseudodiaptomus inopinus</i>					○	○
<i>Pseudodiaptomus marius</i>						
CYCLOPOIDA						
<i>Acanthocyclops vernalis</i> s. l.	○		○			
<i>Cyclops kikuchi</i> s. l.	○					○
<i>Corycaeus affinis</i>				○	○	○
<i>Diacyclops nanus</i>				○		
<i>Eucyclops roseus</i>					○	○
<i>Halicyclops</i> sp.	○	○	○			
<i>Macrocyclus albidus</i>		○		○		
<i>Mesocyclops woutersi</i>		○				
<i>Microcyclops longiramus</i>						○
<i>Microcyclops varicans</i>	○					
<i>Oithona plumifera</i>	○				○	
<i>Thermocyclops dybowskii</i>						○
HARPACTICOIDA						
<i>Alteutha depressa</i>	○					○
<i>Halectinosoma</i> sp.						○
<i>Harpacticus uniremis</i>						
<i>Microarthridion</i> sp.	○					○
<i>Microsetella rosea</i>						
<i>Stenhelina</i> sp.	○					
Cladocera						
<i>Chydorus ovalis</i>		○				
<i>Daphnia hyalina</i>		○				
<i>Diaphanosoma branchyurum</i>					○	
<i>Moina micrura</i>		○	○			
<i>Moina weismanni</i>					○	
<i>Polyphemus pediculus</i>					○	○
<i>Simocephalus</i> sp.		○				
Unidentified cladocera	○	○	○		○	○
Rotifera						
<i>Asplanchna</i> sp.				○		
Ostracoda						
Amphipoda		○	○	○	○	
Mysidacea		○	○	○	○	
Decapod larva		○	○	○		
Collembola			○			○
Appendicularia					○	
Panarida						○

에서는 지각류가 출현하였으며, 요각류는 정점 W5와 정점 W7을 제외한 전 정점에서 높은 점유율을 나타냈다. 7월에는 지각류의 소량 출현 (평균 50 indiv. m^{-3})으로 출현량이 감소하였다 (4월 평균: $617 \text{ indiv. m}^{-3}$). 정점 W5

Table 2. Species diversity index of mesozooplankton community in Watan stream during 2006~2007

	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	Average
Apr. 2006	0.000	1.250	0.420	0.050	—	1.000	0.000	0.420	0.449
Jul. 2006	1.210	0.000	0.560	0.720	—	0.310	1.340	0.560	0.671
Aug. 2006	0.230	0.640	0.460	0.080	—	—	0.300	0.500	0.368
Oct. 2006	0.420	0.170	0.000	0.500	1.270	0.000	0.000	0.660	0.378
Dec. 2006	0.000	0.000	1.030	0.300	0.000	0.000	1.100	0.990	0.428
Feb. 2007	0.080	0.500	0.000	0.000	—	0.240	1.240	0.700	0.394

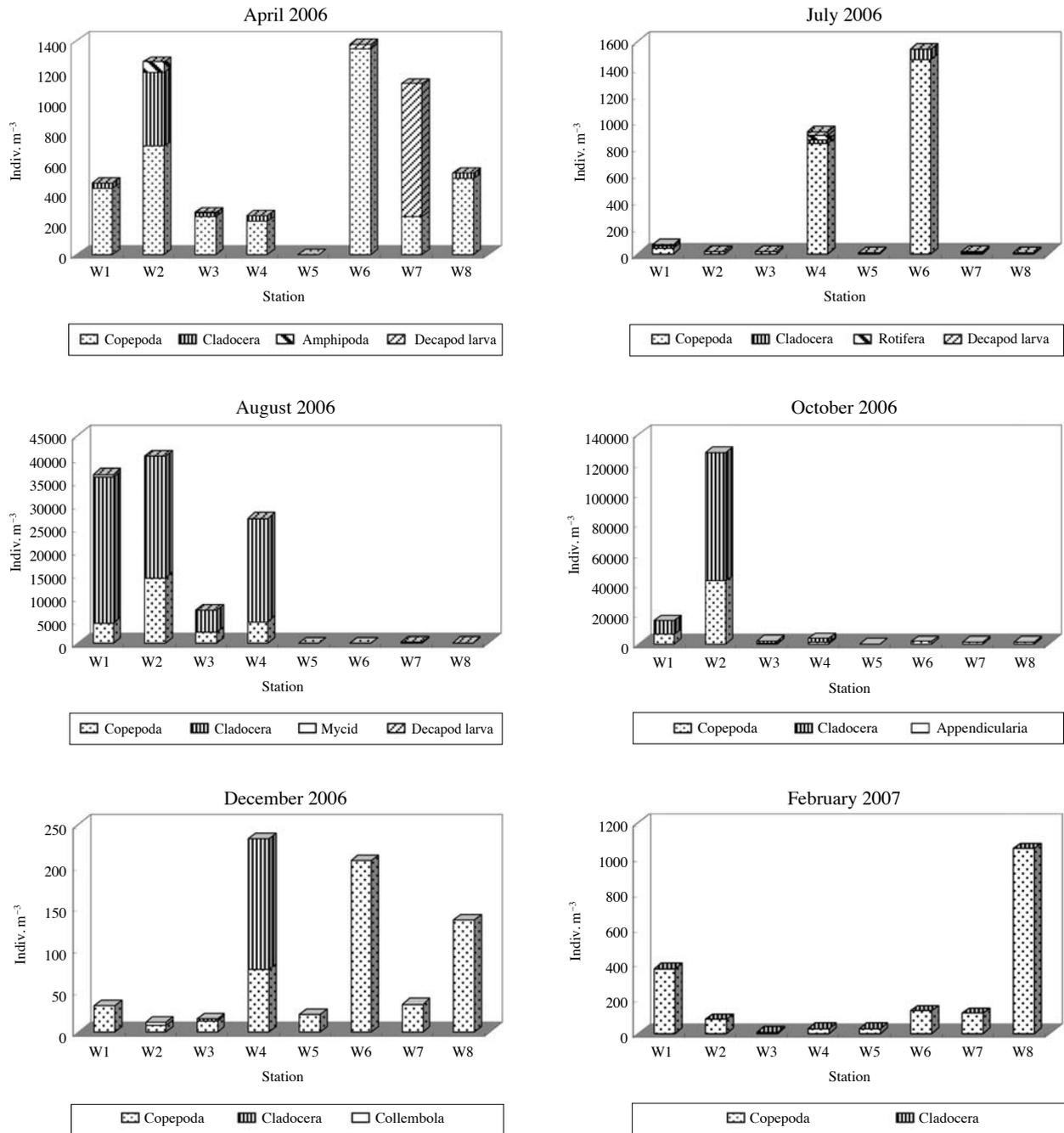


Fig. 3. Mesozooplankton abundance at each station in Watan stream during 2006~2007.

와 W6에서는 요각류만 출현하였으며 정점 W7(36.4%), W8(25.0%)를 제외한 모든 정점에서 높게 나타나 4월보

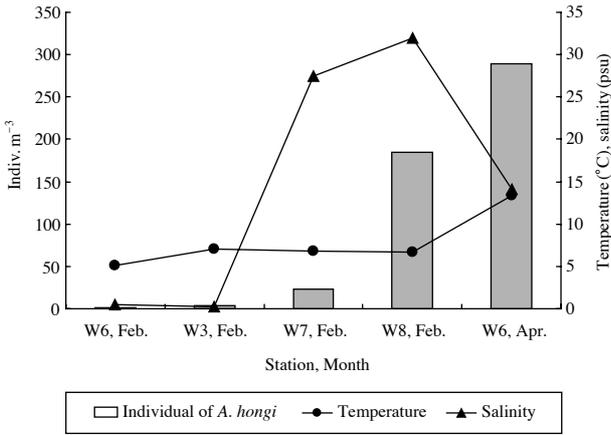


Fig. 4. The abundance of *Acartia hongii* with temperature and salinity at the selected station.

다 요각류의 점유율이 증가하였다(Fig. 3). 8월에는 지각류의 대량 출현에 의하여 담수지역과 해수지역의 출현량 및 출현분류군수 차이가 뚜렷하였고, 요각류의 평균 점유율은 연중 가장 낮게 나타났다. 10월에는 8월과 유사하게 많은 수의 지각류가 출현하여 평균 점유율은 65.3%로 높게 나타났으며, 정점 W2에서 가장 많이 나타났다. 갈수기인 12월은 폭설로 인한 급격한 온도 저하로 정점별 출현 개체수는 12~206 indiv. m⁻³로 연중 가장 낮게 나타났지만, 요각류의 평균 점유율은 76.3%로 높게 나타났다. 2월에는 12월과 유사하게 많은 개체수를 나타내지는 않았지만, 정점별 출현 개체수는 크게 차이가 났다.

해수지역인 정점 W5~W8에서는 요각류인 *Acartia hongii*가 우점하였으며 담수지역인 정점 W1~W4에서는 지각류인 *Polyphemus pediculus*와 *Moina weismanni*가 8월에 대량 출현하였다. *A. hongii*는 온도가 상승함에 따라 개체수 또한 증가하였으며, 염분도의 범위는 광범위하게

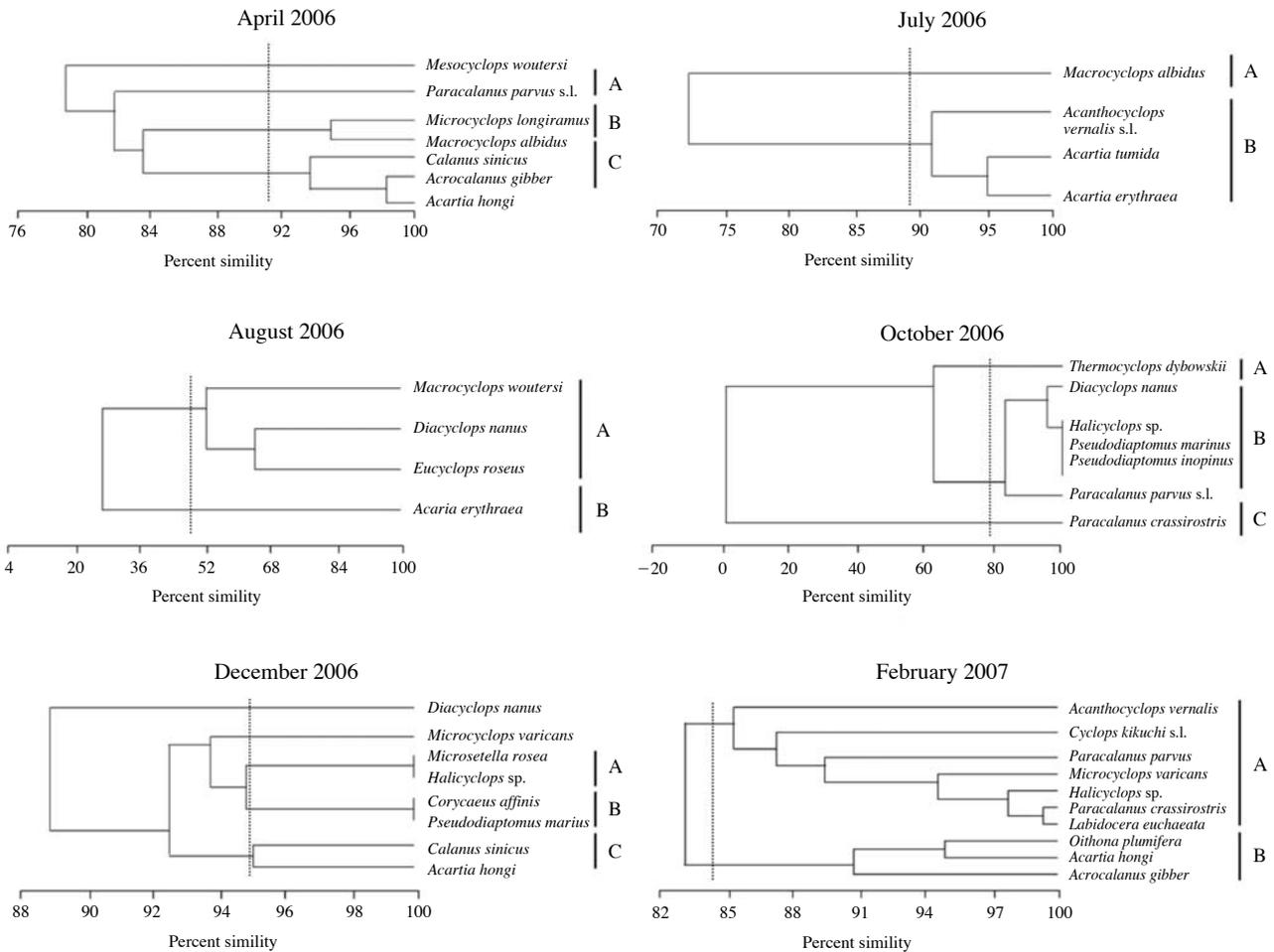


Fig. 5. Dendrogram illustrating the species association depending on the salinity ranges of copepods occurred in Watan stream during 2006~2007.

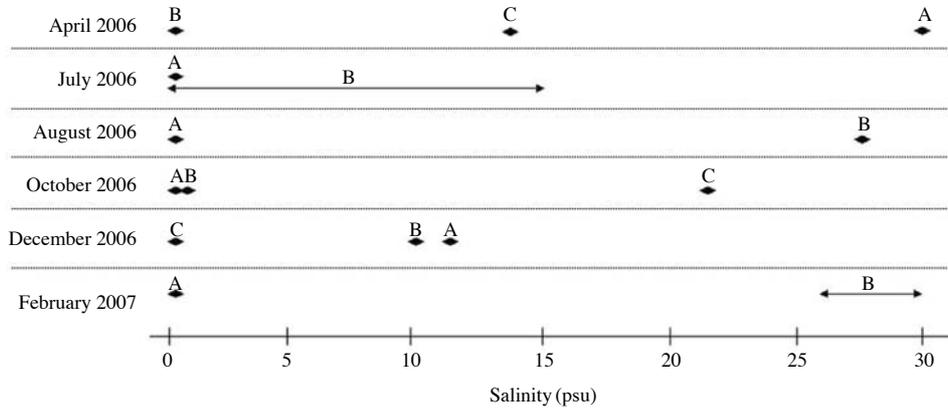


Fig. 6. Salinity range of the copepods group in Watan stream during 2006~2007.

나타났다 (Fig. 4). *M. weismanni*는 정점 W1, W2에서, *P. pediculus*는 정점 W3, W4에서 대량 발생하여 크게 우점하였다. 이들 지각류가 출현한 정점들은 연중 가장 높은 수온인 28.9~29.7°C가 나타났다.

요각류를 대상으로 정점별 개체수와 염분도에 따라 종간의 유사성을 계산하여 수상도를 작성하여 무리를 나누었다 (Figs. 5, 6). 4월의 집괴분석 결과, “A”무리에 속하는 종은 32.3 psu, “B”무리는 0.2 psu 그리고 “C”무리는 염분도 14.1 psu로 염분도에 따른 무리가 나누어졌다. 7월의 “A”무리는 염분도 0.2 psu, “B”무리는 염분도 0.1~15.2 psu에서 출현하였으며, *Acartia* 속의 2종이 포함되었다. 8월의 “A”무리는 염분도 0.1~0.3 psu, “B”무리는 염분도 27.2 psu에서 나타나 염분도에 따른 담수와 해수의 출현종이 뚜렷이 구분되어 나타났다. 10월에는 “A”와 “B”무리는 저염분에서 나타났고, “C”무리는 염분도 22.5 psu가 나타나 구분되었다. 12월에는 분명하게 묶이지 않은 두 종을 제외한다면, “A”무리는 염분도 12.6 psu, “B”무리는 10.5 psu에서 출현하였으며, “C”무리는 저염분인 0.2 psu에서 출현하였다. 2월의 “A”무리는 염분도 1.0 psu 이하, “B”무리는 염분도 27.4 psu 이상인 지역에서 출현하여 구분되었다.

고 찰

하구 연안에서 동물플랑크톤은 생식활동을 위한 적합한 염분 범위를 가지게 되는데, 이는 삼투압 조절에 영향을 받기 때문이다 (Rippingale and Hodgkin 1977; Howarth *et al.* 2000). 따라서, 염분은 동물플랑크톤의 공간적 분포를 결정하는 가장 중요한 요소 중 하나가 된다 (Jones *et al.* 1990; Cervetto *et al.* 1999). 만경, 동진강 하구역에서는

동물플랑크톤 군집이 대부분 연안종으로 구성되며, 넓은 범위의 염분에서 서식이 가능한 종들이 출현한다 (서 등 1991). 그리고 섬진강 하구역에서는 전 계절 연안에서 흔히 볼 수 있는 동물플랑크톤이 주를 이루며, 전 계절 담수 유래 종은 미약하게 출현한다 (박 등 2002). 본 연구에서도 연안종이 중형동물플랑크톤 군집을 형성하였으며 기수종 및 담수종이 함께 출현하였다.

염분 역시 강물의 유입량 변화에 따라 계절적으로 심하게 변하기 때문에 온대 하구역의 요각류는 이러한 환경에 적응하여 각 종은 일정한 수온과 염분 범위 안에서만 출현하게 되어 요각류 군집구조의 계절적 변동이 나타난다 (Cronin *et al.* 1962; Jefferies 1962; Lee and McAlice 1979; Durbin and Durbin 1981; Fulton 1984). 본 조사 지역에서도 온도보다는 염분의 변화가 중형동물플랑크톤의 종 조성 및 출현 개체수에 큰 영향을 주는 환경요인이었다. 수문에 의한 염분의 변화는 각 정점에서 출현하는 우점종의 분포에 영향을 주었다. 외탄천 지류에서는 정점 W2에 위치한 수문에 의해 담수와 해수의 격리가 일어나, 담수지역에서 지각류 및 요각류인 *Macrocyclus albidus*와 *Mesocyclops woutersi* 등이 7월과 8월에 출현하였으며, 해수지역에서는 *Acartia hongii*, *Paracalanus parvus* s. l. 등이 출현하는 양상을 나타냈다. 집괴분석으로는 전반적으로 담수 및 13.0 psu와 27.2 psu 등으로 담수, 기수, 해수지역이 구분되었는데 풍수기인 7월은 담수와 15.0 psu 이하의 지역으로, 갈수기인 12월은 0.2 psu와 10.0 psu의 지역으로 출현종의 분포가 나누어졌다 (Fig. 6). 이는 유량이 풍부한 7월에 빈번한 수문의 개폐가 이루어지고, 농업용수의 사용이 없는 12월에는 수문을 개방시켜 많은 양의 담수가 비정기적으로 유입되기 때문이라 생각된다. 더불어, 구암천의 수문지역 (정점 W6, W7)에서는 빈번하고 급격한 염분도의 변화로 인하여 조사기간 중 중

형동물플랑크톤이 거의 출현하지 않았다. 우점 분류군인 요각류의 경우에는 출현 개체수와 염분 및 온도와의 상관관계를 분석 하였을 때, 온도와는 유의성 있는 상관관계를 보이지 않았지만, 2월에 출현한 *Acartia hongii*와 *Oithona plumifera*는 염분과 양의 상관관계 ($p < 0.05$)를 나타냈다. 이러한 결과로 볼때 조사지역의 복잡한 환경적 변동으로 인해서 그 경향성을 잘 파악하기에는 어려운 점이 있으나, 와탄천의 중형동물플랑크톤의 군집 중에서 적어도 우점적인 일부 요각류의 종들은 대형저서동물의 경우(임과 홍 2002)에서와 같이 염분에 의해서 그 분포가 영향을 받고 있음을 확인할 수 있다. 집괴분석에서 7월에 담수종인 *Acanthocyclops vernalis* s. l.는 고염에서, 12월에 해산종들인 *Pseudodiaptomus marinus*, *Acartia hongii*, *Calanus sinicus*는 저염에 분포하는 무리로 나뉘이기도 하였는데, 각각 염분과의 유의한 상관관계는 나타나지 않았음을 고려할 때, 이들 종들은 각 정점에서 적응하여 장시간 분포하기 보다는 일시적인 담수 방류나 조수의 영향에 의한 것으로 추측된다.

영광 지역의 불갑천에서는 요각류인 *Pseudodiaptomus inopinus*가 크게 우점을 하였는데(이 등 2008), 와탄천에서는 10월에 극히 적은 개체수만이 출현하였다. 이는 수문으로 제한된 하천의 특성을 보여주는 것으로, 염도에 따라 담수와 기수지역을 이동하는 *P. inopinus*가 와탄천 지류에서 서식하기 어려운 것으로 추정된다.

동물플랑크톤 출현량은 계절적인 변동이 크게 나타났는데 불갑천과 같이(이 등 2008) 가을철인 10월에 가장 많은 출현 개체수가 나타났고, 겨울철인 12월에 가장 적게 출현하였다. 또한, 수문이 폐쇄되는 7~8월의 담수지역에서는 와탄천 지류의 정점 W1보다 W2에서, 구암천 지류의 정점 W4보다 W5에서 출현량이 높았는데 이는 영산강 하류의 하구엔 댐으로 향할수록 동물플랑크톤의 출현량이 증가하는 결과(김과 이 2007)와 유사하였다.

종다양성 지수는 전반적으로 여름철에 높은 경향을 보였다. 와탄천의 종다양성 지수는 영광군 인근의 불갑천보다는 낮게 나타났는데, 가장 높은 7월의 경우, 불갑천은 1.072가 나타나(이 등 2008), 와탄천(0.671)보다 현저히 높았다. 이는 수문이 없는 자유곡류 하천인 불갑천에서 자연스러운 기수지역의 형성으로 생물종 조성이 더 다양하게 나타났던 것으로 생각된다. 또한, 출현분류군 수는 겨울, 봄철이 여름, 가을철보다 현저히 높게 나타났는데, 이는 여름과 가을철에 농업용수 사용을 위한 수문의 폐쇄로 담수유입이 저하되어 기수종들의 출현이 줄어들었기 때문으로 생각된다.

본 조사기간 동안 우점하여 출현한 *Acartia hongii*는 대표적인 연안종이며, 우리나라 서해안 일대 내만의 저수

온기 저염분 해역에서 겨울철과 봄철에 주로 출현한다(Soh and Suh 2000). 본 연구에서는 5.15~13.37°C에서 출현하였으며, 온도가 상승함에 따라 개체수가 증가하였다. 염도 30.0 psu 이상인 지역에서 많이 출현하였고, 염분도가 낮은(0.2~13.3 psu) 지역에서도 출현하여, 염도의 범위는 광범위하게 나타나 염분에 대한 내성이 크다고 판단된다.

8월 담수지역에서의 지각류 대량 발생은 연중 수온이 가장 높은 시기이며 수문의 폐쇄로 인하여 담수의 유출이 없고, 염도의 변화가 없는 안정된 환경으로 인한 결과이다.

이처럼 영광 와탄천 하구역에 분포하는 중형동물플랑크톤은 계절에 따른 환경요인 변화와 더불어서 수문의 개폐로 인한 담수 유입의 변동에 따른 영향으로, 염분이 변화함에 따라 출현 종 조성과 개체수에 크게 영향을 받게 되고, 수문이 있는 정점들에서의 해양종들은 조류에 의해 상류측으로 밀려와 기수 및 담수 종들과 함께 혼재되어 출현하였다.

적 요

전라남도 영광군 와탄천 지류에 서식하는 중형동물플랑크톤의 종조성과 풍부도, 요각류의 분포 및 환경과의 관계를 조사하기 위하여 2006년 4월, 7월, 8월, 10월, 12월, 2007년 2월 6회에 걸쳐 총 8개의 정점에서 채집을 하였다. 조사 기간 동안 출현한 중형동물플랑크톤은 45개의 분류군으로 요각류는 29종, 지각류는 8종 등이 출현하였다. 우점하는 분류군 중 요각류는 2월에 13종으로 가장 많이 나타난 반면, 7월, 8월에는 4종으로 가장 적게 출현하였다. 중형동물플랑크톤의 출현개체수는 10월 ($31 \sim 127,587 \text{ in-div. m}^{-3}$)에 가장 높았으며, 12월 ($12 \sim 233 \text{ indiv. m}^{-3}$)에 가장 낮게 나타났다. 종 다양성 지수는 7월(0.671)이 가장 높게 나타났으며, 8월(0.368)이 가장 낮게 나타났다. 와탄천 지류에서 주요 우점종은 *Acartia hongii*로 나타났다. *A. hongii*는 2006년 4월, 12월, 2007년 2월에 출현하였다. 수온 약 12.0°C에서 가장 많은 개체수를 나타내었고, 주로 염분도 30.0 psu 이상인 지역에서 많이 발생하였다. 담수지역에서는 지각류인 *Polyphemus pediculus*, *Moina weismanni*가 06년 8월에 대량 발생하였다. 우점 분류군이었던 요각류는 집괴분석 결과 조사시기 별로 염분의 변화에 따라서 두개 또는 세개의 무리로 구분되었다. 연구지역에서 중형동물플랑크톤은 수문의 개폐에 따른 염분의 변화와 계절적 차이에 의한 수온이 출현종 조성과 출현 개체수에서 영향을 받았다.

사 사

본 연구의 전반부는 환경과학연구원의 자체 연구과제인 '하구역 생태계 정밀조사'로 시작되었으며, 중반 이후에는 환경부의 차세대 핵심환경기술개발사업 (Ecotechnology 21 project)으로 지원받은 과제입니다.

참 고 문 헌

- 김현우, 이학영. 2007. 하구연 댐 유무에 따른 강 생태계에서의 동물플랑크톤 동태의 차이. 한국하천호수학회지. 40: 273-284.
- 박 철, 이평강, 양성렬. 2002. 계절과 염분 변화에 따른 섬진강 하구역 동물플랑크톤의 분포 변화. 한국해양학회지. 7:51-59.
- 서해립, 서호영, 차성식. 1991. 만경 동진강 하구계의 동물플랑크톤의 분포와 염분. 한국해양학회지. 26:181-192.
- 이동주, 임동일, 곽인실, 서호영, 이원철. 2008. 영광 불갑천에 서식하는 동물플랑크톤의 군집구조. 환경생물. 26:355-366.
- 이윤화, 조화룡. 2005. 와탄천 유역 분지의 지형 발달. 한국지형학회지. 12:77-90.
- 임현식, 홍재상. 2002. 범성포 와탄천 하구역의 염분과 퇴적 환경에 따른 대형저서동물의 공간분포. 한국해양학회지. 7: 8-19.
- 장천영, 민기식. 2005. 한국 담수 검물벼룩의 검색과 DNA 분류. 정행사. 3-114pp.
- 환경부 국립환경연구원. 2005. 2004 하구역 생태계 정밀조사. 894pp.
- Boxshall GA and SH Halsey. 2004. An Introduction to Copopod Diversity. The Ray Society. pp.4-41.
- Bray JR and JT Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. Ecol. Monogr. 27:325-349.
- Calbet A, S Garrido, E Saiz, M Alcaraz and CM Duarte. 2001. Annual zooplankton succession in coastal NW Mediterranean waters: the importance of the smaller size fractions. J. Plankton Res. 23:319-331.
- Cervetto G, R Gaudy and M Pagano. 1999. Influence of salinity on the distribution of *Acartia tonsa* (Copepoda, Calanoida). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 239:33-45.
- Cronin LE, JC Daiber and EM Hulbert. 1962. Quantitative seasonal aspects of zooplankton in the Delaware River estuary. Chesapeake Sci. 3:63-93.
- Durbin AG and EG Durbin. 1981. Standing stock and estimated production rates of phytoplankton and zooplankton in Naeagansett Bay, Rhode Island. Estuaries 4:24-41.
- Fulton RS. 1984. Distribution and community structure of estuarine copepods. Estuaries 7:38-50.
- Gupta S, DJ Lonsdale and DP Wang. 1994. The recruitment patterns of an estuarine copepod: A coupled biological-physical model. J. Mar. Res. 52:687-710.
- Hough AR and E Naylor. 1991. Field studies on retention of the planktonic copepod *Eurytemora affinis* in a mixed estuary. Mar. Ecol. Prog. Ser. 76:115-122.
- Howarth RW, DP Swaney, TJ Butler and R Marino. 2000. Climatic control on eutrophication of the Hudson River estuary. Ecosystems 3:210-215.
- Huys R, JM Gee, CG Moore and R Hamond. 1996. Marine and brackish water harpacticoid copepods Part 1. The Linnean Society of London. pp.4-326.
- Jamet JL, N Jean, G Bogé, S Richard and D Jamet. 2005. Plankton succession and assemblage structure in two neighbouring littoral ecosystems in the north-west Mediterranean Sea. Mar. Freshwat. Res. 56:69-83.
- Jefferis HP. 1962. Copepod indicator species in estuaries. Ecology 43:730-733.
- Jones PD, PYa Groisman, M Coughlan, N Plummer, WC Wang and TR Karl. 1990. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land. Nature 347: 169-172.
- Kimmerer WJ. 1993. Distribution patterns of zooplankton in Tomales Bay, California. Estuaries 16:254-274.
- Lee WY and BJ McAlice. 1979. Seasonal succession and breeding cycles of *Acartia* (Copepoda: Calanoida) in a Marine estuary. Estuaries 2:228-235.
- Lo WT and JS Hwang. 2004. Diel vertical migration of the planktonic copepods at an upwelling station north of Taiwan, western North Pacific. J. Plankton Res. 26:89-97.
- Miller CB. 1983. The zooplankton of estuaries. pp.103-149. In Estuaries and enclosed sea (Ketchum BH ed.). Elsevier, Amsterdam.
- Morgan CA, JR Cordell and CA Simenstad. 1997. Sink or swim? Copepod population maintenance in the Columbia River estuarine turbidity-maxima region. Mar. Biol. 129:309-317.
- Rippingale J and P Hodgkine. 1977. Food availability and salinity tolerance in a brackishwater copepod. Aust. J. Freshwater Res. 28:1-7.
- Soh HY and HL Suh. 2000. A new species of *Acartia* (Copepoda, Calanoida) from the Yellow Sea. J. Plank. Res. 22:321-337.
- Ueda H, A Terao, M Tanaka, M Hibino and Md S Islam. 2004. How can river-estuarine planktonic copepods survive river floods? Ecol. Res. 19:625-632.

Manuscript Received: May 20, 2009
Revision Accepted: November 29, 2009
Responsible Editor: Hyun-Woo Kim