

영광 불갑천에 서식하는 요각류를 중심으로 한 중형동물플랑크톤의 군집구조

이동주 · 임동일¹ · 광인실² · 서호영² · 이원철*

한양대학교 생명과학과, ¹한양사이버대학교 부동산학과,
²전남대학교 해양기술학부

Mesozooplankton Community Focusing on the Copepods in the Bulgap Stream, Yeonggwang, Korea

Dong Ju Lee, Dongil Lim¹, Inn-Sil Kwak², Ho Young Soh² and Wonchoel Lee*

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

¹Department of Real Estate, Hanyang Cyber University, Seoul 133-791, Korea

²Division of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

Abstract – The composition and abundance of mesozooplankton were studied from the five stations on the Bulgap stream near Yeonggwang, Jeollanamdo, Korea. Mesozooplankton samples were collected bimonthly in April, July, August, October, and December 2006 and February 2007. Total 44 taxa of mesozooplankton occurred with the highest abundance (31 ~ 53,230 indiv. m⁻³) in October, and the fewest (16 ~ 97 indiv. m⁻³) in December. Diversity index is the highest in July (1.072) and the lowest in October (0.386). The two copepod species, *Pseudodiaptomus inopinus* and *Macrocyclus albidus* were dominant during the study periods. A brackishwater species, *P. inopinus* occurred in the Bulgap stream during from August 2006 to February 2007. This species was the most dominant species (53,010 indiv. m⁻³) in the stations that usually have low salinities (0.1 ~ 14.0 psu). *M. albidus* was predominated during from April to August 2006 in the freshwater stations.

Key words : mesozooplankton, copepoda, *Pseudodiaptomus inopinus*, *Macrocyclus albidus*, Bulgap stream, Yeonggwang

서 론

담수지류는 바다와 만나면서 혼재되어 생기는 기수 지역인 하구역을 형성한다. 하구역은 해양과 비교해 볼 때 강 상류로부터 끊임없이 내려오는 영양염류와 해수로부터 오는 무기염류로 인해 높은 생물학적 생산력을

보이며, 담수종, 해산종 그리고 기수종이 함께 출현하는 다양하고 풍부한 종조성을 나타낸다(Fairbridge 1980; Day 1981). 하구 연안역에서 동물플랑크톤 분포는 담수 유입과 조석에 의한 시·공간적인 다양한 환경변이로 인해 불규칙한 변화 양상을 보이며, 복잡한 환경에 적응된 소수종이 출현하여 다양성이 낮은 경향을 보인다(Miller 1983; Kimmerer 1993).

하구역에서 동물플랑크톤의 분포 및 현존량에 영향을 주는 환경 요인으로는 수온, 염분 등 물리적인 요인과

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

먹이 농도 및 생물 간 상호작용 등 생물학적 요인 등이 중요하게 인식된다. 하구 연안역에서 염분은 동물플랑크톤의 공간적 분포에 가장 큰 영향을 미치고(Rippingale and Hodgkine 1977; 서 등 1991), 수온 변화는 계절적 중변동의 원인이 된다(Calbet *et al.* 2001; Lo and Hwang 2004; Jamet *et al.* 2005). 동물플랑크톤의 개체군이 유지되기 위해서는 생식활동에 의한 증가분이 자연사망과 포식에 의한 감소분을 보충할 수 있어야 한다. 일반적으로 동물플랑크톤은 각 종별로 생식활동에 적합한 고유의 환경조건을 가지며, 그 가운데 가장 중요한 것은 생물의 대사속도를 지배하는 수온과 삼투압 조절에 작용하는 염분으로 여겨지고 있다(Barlow 1955; Lance 1963). 생식활동을 할 수 있는 환경조건은 단순히 서식 가능한 환경조건보다 훨씬 좁은 범위가 되므로, 호염성 해양플랑크톤이 기수역에 분포한다 하더라도 개체군을 유지하기에 충분한 생식활동을 하기 어렵다. 따라서 하구에는 기수 환경에서 높은 생식활동을 유지할 수 있는 종의 개체군만이 남게 되어 기수생태계 고유의 플랑크톤 군집이 형성된다(Jefferies 1962). 그러나 하구는 담수와 해수가 만나는 곳이며, 또한 이들이 혼합되어 만들어진 기수(염분 0.5~30.0 psu, Remane and Schlieper 1971)가 존재하므로 하구에는 담수, 해수, 그리고 기수에 서식하는 생물군이 혼재되어 나타난다(Gunter 1961; Haertel and Osterberg 1967). 이들의 분포양상은 강물의 유입에 의하여 하구에서 외만 쪽으로 변화하는 염분에 크게 영향을 받게 된다(Jones *et al.* 1990). 따라서 하구 연안 먹이망에서 동물플랑크톤은 복잡한 환경 변화에 적응하고 대처해가며 개체군을 유지하게 된다(Hough and Naylor 1991; Gupta *et al.* 1994; Morgan *et al.* 1997; Ueda *et al.* 2004).

우리나라의 하구역은 농업 및 산업용수 확보, 홍수조절을 목적으로 해양과 인접하는 장소에 하구둑과 수문이 건설되어 있어 담수가 비정기적으로 해양으로 유입된다. 담수의 유입으로 인한 염분 저하는 하구역 조하대 및 조간대에 서식하는 플랑크톤에 큰 영향을 미치게 되고, 특히 풍수기인 여름철과 갈수기인 겨울철에는 염분 농도 구배가 뚜렷해져 서식하는 생물들이 더 큰 영향을 받을 가능성이 있다(임과 홍 2002).

본 연구의 전반부는 환경과학연구원의 자체 연구과제인 '하구역 생태계 정밀조사'의 일환으로 시작되었으며, 추가조사를 통하여 전라남도 영광 불갑천 하구역에 나타나는 중형동물플랑크톤의 전체분류군을 대상으로 종조성과 생물량을 밝혀 계절적 특성을 비교하였다. 아울러 가장 우점적으로 출현하는 분류군인 요각류의 분포와 이들의 분포에 가장 큰 영향을 미치는 환경요인인 염분과의 관계를 검토하여 요각류의 군집특성을 밝히고

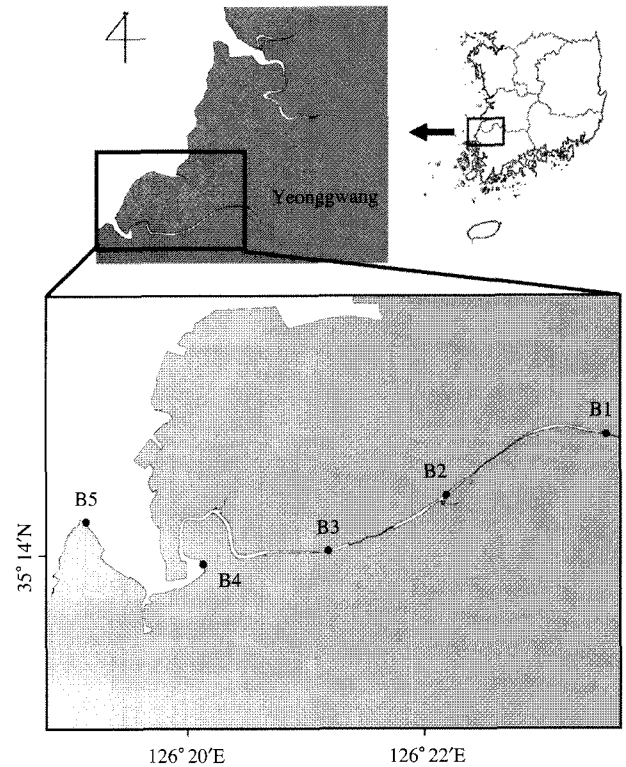


Fig. 1. The sampling stations in the Bulgap stream, Yeonggwang, Korea.

자 하였다.

재료 및 방법

중형동물플랑크톤 채집은 불갑천의 5개 조사정점에서 2006년 4월, 7월, 8월, 10월, 12월, 2007년 2월의 총 6회에 걸쳐 각 정점별로 매 회 동일한 시간에 실시하였다(Fig. 1). 채집은 NORPAC 플랑크톤네트(망목 300 μ m, 망구 직경 30 cm)를 이용하여 10 m씩 끌어서 수평채집을 하였다. 수량이 적은 경우에는 5 m, 2회 또는 1 m, 10회를 반복하여 진행하였다. 조사정점의 시료는 모두 현장에서 70% 알코올로 고정하였다. 조사지역의 물리적 환경을 파악하기 위하여, YSI-556을 이용하여 표층수를 측정하였으며, 염분도 0.0~1.0 psu인 지역을 담수역, 1.0 psu 이상인 지역을 기수역으로 분류하였다.

시료는 실험실에서 모든 시료를 계수하거나, 1/4 또는 1/10을 취하여 동물 플랑크톤 계수 판에 넣고 40~90배의 고배율 해부현미경(Olympus SZX12)을 사용하여 종별로 계수하였고, 그 후 1 m³당 개체수로 환산하였다.

종 동정과 관찰을 위해 lactophenol을 떨어뜨린 Cobb 슬라이드 위에서 100~1,000배의 광학현미경(Olympus

BX51)를 이용하여 충분히 관찰하고, 해부가 필요한 종은 해부핀으로 해부한 다음 관련 전문문헌과 도감을 통해 분류하였다. 동정이 끝난 종은 DIC microscope 하에서 Digital Camera를 이용하여 사진을 찍었다.

분류 동정에는 Boxshall and Halsey (2004), Huys *et al.* (1996), 장과 민(2005)이 제시한 분류키를 이용하여 실시하였다. 요각류의 전문 용어는 Huys *et al.* (1996)로부터 채택하였다.

동물플랑크톤 군집의 종다양성을 비교 분석하기 위하여 Shannon-Weaver의 종다양성지수(H')를 구하였다.

또한, 요각류의 출현종에 따른 분포양상을 비교하기 위하여, 유사도 지수를 구하였다. 유사도 지수는 Bray and Curtis (1957)의 유사도 지수를 사용하였다.

결 과

1. 수온 및 염분

조사기간 동안 수온은 1.7~30.2°C로 12월에 가장 낮

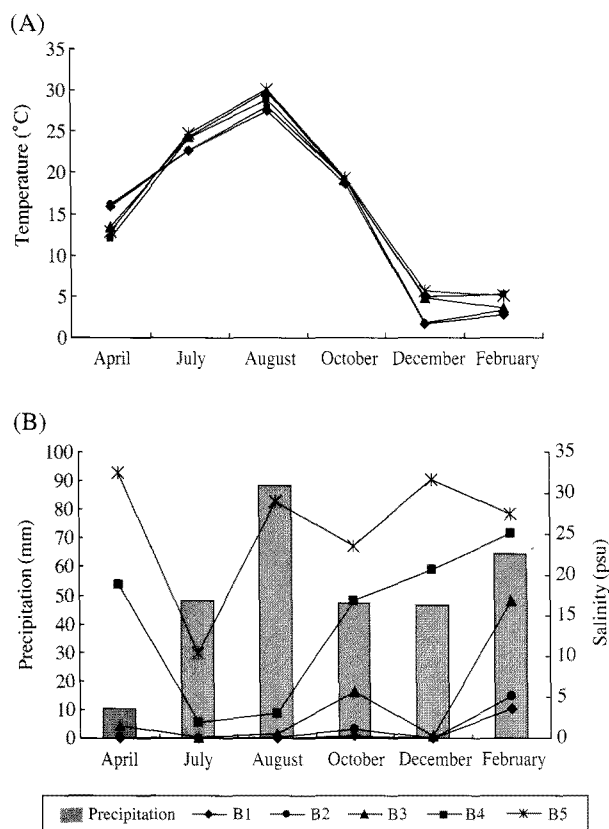


Fig. 2. Bi-monthly variation of surface water temperature (A), salinity and mean monthly precipitation (B) at each station in the Bulgap stream during the study periods.

게 나타난 반면, 8월에 가장 높았다(Fig. 2). 정점별 수온의 차이는 연중 4.0°C 이하로 낮게 나타났지만, 계절간의 수온 변화는 매우 컸다. 염분은 조사기간 동안 0.0~32.5 psu로 나타나 정점간의 차이가 크게 나타났다. 7월에는 많은 강수량에 의하여 모든 정점에서 염분도가 급격히 낮아졌다. 12월경에는 일대에 폭설로 인하여 급격히 온도가 하강하였으며, 상류지역에서의 염분도 또한 매우 낮게 나타났다. 또한, 2월경에는 유량이 현저히 줄고, 바닷물이 역류해서 올라오는 현상이 있음에 따라 높은 염분도가 기록되었다.

2. 중형동물플랑크톤의 종 조성

조사기간 동안 출현한 중형동물플랑크톤은 총 44개의 분류군이 출현하였으며, 종 수준까지 동정된 것은 22속 30종으로 요각류 25종, 지각류 4종, 윤충류 1종 등으로 요각류가 대부분을 차지하였다. 요각류 중 Calanoida가 9종, Cyclopoida가 9종, Harpacticoida가 7종이었다(Table 1).

4월에 가장 다양한 분류군이 나타났으며, 10월에 가장 적은 분류군이 출현하였다. 요각류는 전체 조사시기별 출현 종수가 2월의 경우 14개 분류군(요각류 12종), 4월은 17개 분류군(요각류 13종), 7월은 13개 분류군(요각류 6종), 8월은 10개 분류군(요각류 6종), 10월은 3개 분류군(요각류 1종)이며, 12월에 10개 분류군(요각류 9종)으로 나타나 4월에 가장 많은 분류군이 출현하였다. 또한, 다양성 지수는 평균적으로 0.753으로 7월(1.072)이 가장 높게 나타났으며, 10월(0.386)이 가장 낮게 나타났다. 또한, 하류지역으로 갈수록 다양성 지수가 높아지는 경향이 나타났다(Fig. 3).

3. 시·공간적 분포 특성

전 계절을 통하여 출현한 중형동물플랑크톤의 평균 개체수는 1,008 indiv. m⁻³이며, 10월 정점 B3에서 53,230 indiv. m⁻³로 가장 높은 출현량을 보였고, 12월에 정점 B2에서 16 indiv. m⁻³으로 가장 낮은 출현량이 나타났다.

조사기간 동안의 요각류(요각류 유생 포함)의 전체 중형동물플랑크톤에 대한 출현 비율은 12월 정점 B3, B4, B5와 2월 정점 B3에서 100.0%로 극우점하였으며, 8월의 정점 B3에서 0.0%, 7월 정점 B3에서 28.6%가 나타났다. 또한, 8월의 정점 B3에서 근쟁이류와 십각목에 속하는 갑각류 유생이 대량으로 발생하였다. 하계인 2006년 8월부터 동계인 2007년 2월까지의 요각류인 *Pseudodipatopus inopinus*가 불갑천 일대에서 가장 많은 출현 개체수와 점유율을 보여주었다.

Table 1. The list of zooplankton identified in the Bulgap stream. Note: Roman numeric II, IV, VII, VIII, X and XII represent February, April, July, August, October and December, respectively

Species	Month					
Copepoda						
CALANOIDA						
<i>Acartia erythraea</i>		VII	VIII			
<i>Acartia hongii</i>	IV					
<i>Acanthodiaptomus pacificus</i>					XII	
<i>Calanus sinicus</i>	IV				XII	
<i>Labidocera euchaeta</i>	II					
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	II	IV				
<i>Pseudodiaptomus inopinatus</i>	II		VIII	X	XII	
<i>Pseudodiaptomus marius</i>	II					
<i>Sinocalanus tenellus</i>	II				XII	
CYCLOPOIDA						
<i>Acanthocyclops vernalis</i>	IV					
<i>Corycaeus affinis</i>	II				XII	
<i>Eucyclops roseus</i>		VII	VIII			
<i>Halicyclops</i> sp.	II					
<i>Macrocyclus fuscus</i>		VII				
<i>Macrocyclus albidus</i>	IV	VII	VIII			
<i>Mesocyclops woutersi</i>	IV					
<i>Microcyclus longiramus</i>	IV					
<i>Ochridacyclops coreensis</i>	IV					
<i>Oithona plumifera</i>	II					
HARPACTICOIDA						
<i>Bryocamptus mrazeki</i>	IV					
<i>Canthocamptus kitawensis</i>					XII	
<i>Clytemnestra</i> sp.	II					
<i>Delavalia</i> sp.		VII	VIII		XII	
<i>Harpacticus uniremis</i>	II					
<i>Microsetella norvegica</i>	II	IV				
<i>Microarthridion</i> sp.	II	IV				
<i>Pseudobradia</i> sp.					XII	
<i>Schizopera jugurtha</i>					XII	
<i>Tachidius triangularis</i>	IV					
<i>Tisbe finmarchica</i>			VIII			
LAOPHONTINAE sp.		VII				
HARPACTICIDAE sp.	IV					
Cladocera						
<i>Chydorus ovalis</i>	IV					
<i>Daphnia hyalina</i>		VII				
<i>Eurycerus lamellatus</i>		VII				
<i>Moina micrura</i>		VII	VIII			
Moinidae sp.		VII				
Cladocera sp.		VII	VIII		XII	
Rotifera						
<i>Dipleuchlamis propatula</i>		VII				
Ostracoda sp.						
Ostracoda sp.	IV					
Amphipoda sp.						
Amphipoda sp.	IV				X	
Mysidacea sp.						
Mysidacea sp.	II	IV		VIII	X	
Decapod larva sp.						
Decapod larva sp.		VII	VIII			
Appendicularia sp.						
Appendicularia sp.	II					

춘계인 2006년 4월에 중형동물플랑크톤의 정점별 개체수는 정점 B1과 B5에서 높게 나타났고, 정점 B2, B4에서 낮게 나타났었다 (Fig. 4). 요각류의 출현 비율은 전 정점에서 높게 나타났는데, 정점 B4에서 가장 높아 97.2%이며, 정점 B1에서 76.3%로 가장 낮았다. 전 정점에서의

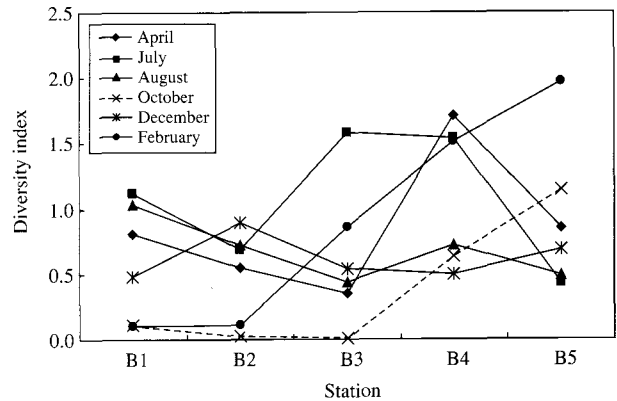


Fig. 3. Bi-monthly variations of diversity index of zooplankton in the Bulgap stream during the study periods.

각 종의 평균 점유율은 *Macrocyclus albidus*가 30.7%로 가장 높았으며, *Acartia hongii* (26.3%), copepodite (10.9%)가 우점하여 출현하였다. *M. albidus*는 담수지역인 정점 B1, B2 그리고 *A. hongii*는 염분도가 높은 정점 B5에서만 출현하여, 염분도에 따른 종 분포가 확연히 차이가 났다. 각 정점에서 출현하는 분류군의 수는 유사하게 기록되었지만, 정점 B4에서는 담수와 해수가 만남으로써 여러 종이 혼합되어서 출현하였다.

동물플랑크톤은 봄에서 여름에 걸쳐 개체수가 증가하는 양상을 띤다 (Raymont 1983). 본 조사에서도 여름철인 7월에는 정점별 개체수가 크게 증가하였다 (Fig. 4). 이와 같이 높은 증가는 요각류 중 *Acartia erythraea*, *Eucyclops roseus*, *Macrocyclus albidus*, 지각류 중 *Moina micrura* 등이 다량 출현하였기 때문이다. 요각류의 점유율은 정점 B4에서 92.5%로 가장 높았으며, 정점 B3를 제외한 모든 정점에서 높게 나타났다. 정점 B3에서는 요각류가 28.6% 출현하였는데, 이는 상대적으로 지각류가 우점하여 출현하였기 때문이다. 전 정점에서는 평균적으로 84.3%가 출현하여 4월과 유사하게 기록되었다. 4월에 출현하지 않았던 *Acartia erythraea* (3.7%), *Moina micrura* (3.9%), *Eucyclops roseus* (2.2%)가 출현하였다. 우점하여 출현한 calanoid copepodite는 정점 B4, B5에서, cyclopoid copepodite는 정점 B1, B2, B3에서만 출현하여 뚜렷이 구분이 되었다.

8월의 정점별 평균 출현 개체수는 7월보다 낮게 나타났다. 요각류의 점유율은 정점 B3를 제외하고는 높게 나타났는데, 전 정점에서의 평균은 50.0%로 나타났으며 곤쟁이류가 40.3%로 다음으로 우점하였다. 7월에 출현하지 않았던 곤쟁이류는 정점 B1을 제외한 모든 정점에서 출현하였으며, 정점 B3에서는 617 indiv. m⁻³가 출현하였다 (Fig. 4). 전 정점에서의 각 종의 평균 점유율은

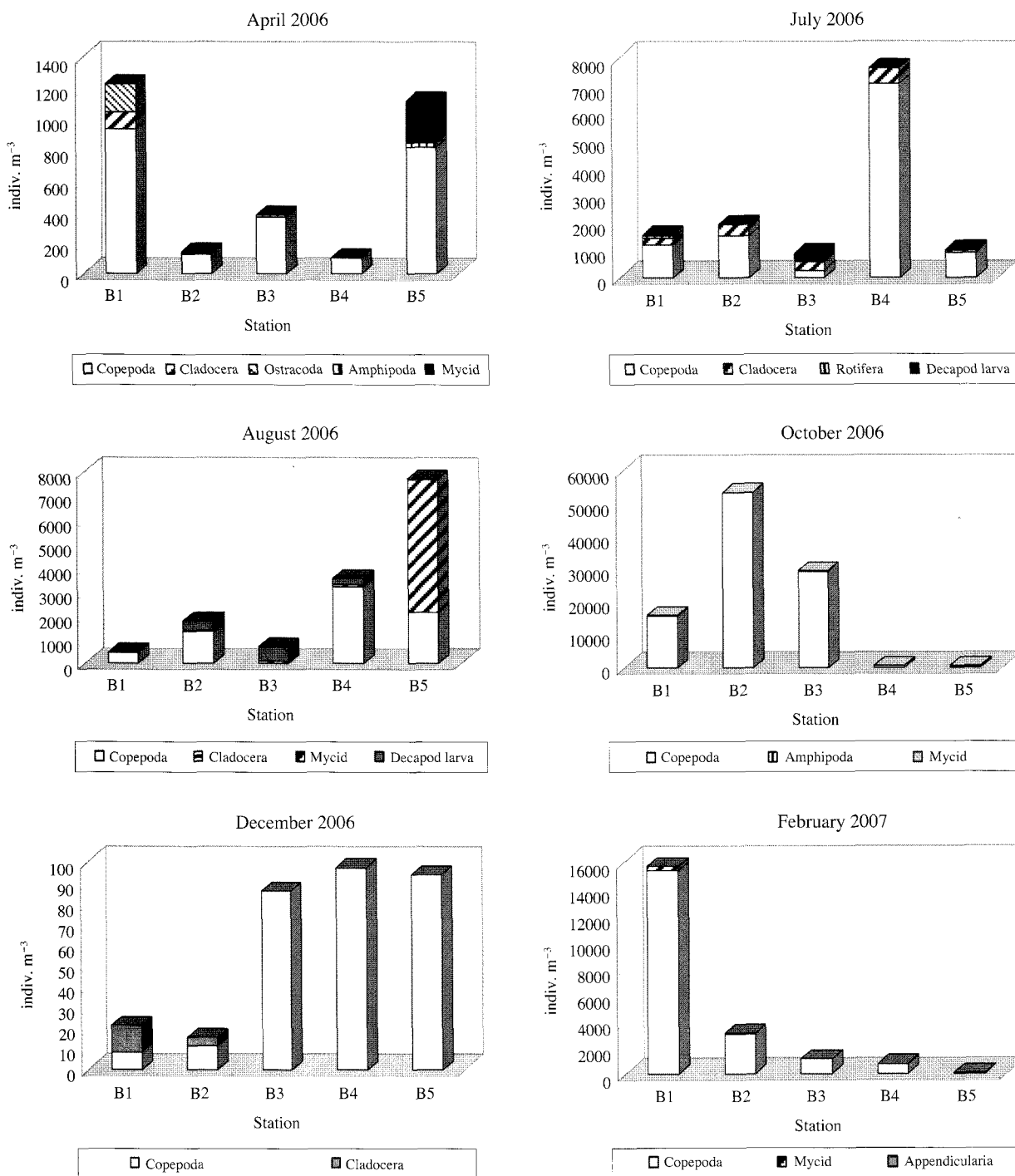


Fig. 4. Zooplankton abundances at each station in the Bulgap stream during the study periods.

*Pseudodiaptomus inopinus*가 40.1%로 가장 높았으며, copepodite (27.4%), *Acartia erythraea* (13.1%)가 우점하여 출현하였다. 정점 B1, B2, B4에서 기수성 요각류인 *Pseudodiaptomus inopinus*가 우점하여 출현하였고, 정점 B5에서는 *A. erythraea*가 우점하였다. 정점 B3과 정점

B5에서는 각각 십각목에 속하는 갑각류 유생과 곤쟁이류가 출현하였다. 또한, 높은 염분도 (29.0 psu)가 높았던 정점 B5에서는 *P. inopinus*가 출현하지 않았다.

10월에는 조사기간 중 가장 많은 수가 출현하였는데, 이 중 요각류의 평균 점유율이 98.9%로 극우점을 하였

으며, 모든 정점에서 높게 나타났다. 모든 정점에서 단각류가 출현하였으며, 정점 B3를 제외한 모든 정점에서 곤쟁이류가 출현하였다(Fig. 4). Copepodite의 경우에 정점 B3, B4에서는 cyclopoid copepod만이 출현하였으며, 정점 B5에서는 calanoid copepod만 출현하였다. 각 정점에서 출현한 분류군의 수는 8월에 비하여 낮아졌으며, 10월에 가장 우점한 *Pseudodiaptomus inopinus*는 전체 동물 플랑크톤의 97.2%를 나타내었다.

12월에는 극히 적은 개체수만이 출현하였으며, 그 중요각류의 평균 점유율은 97.5%로 높게 나타났으며, 정점 B3, B4, B5에서는 100.0%가 나타났다. 정점 B1, B2에서는 지각류가 일부 출현하였다(Fig. 4). 우점종의 정점별 평균 점유율은 copepodite가 59.1%로 가장 높게 나타났고, *Pseudodiaptomus inopinus*가 25.1%, 지각류가 5.8% 나타났다. *P. inopinus*는 정점 B4에서 크게 우점하였고, 정점 B4, B5에서 copepodite가 대량으로 출현하였다. 또한, *Calanus sinicus*가 정점 B4에서 출현하였다.

2월의 정점별 출현 개체수는 상류에서 하류로 갈수록 줄어드는 경향이 나타났다(Fig. 4). 전 정점에서의 요각류의 평균 점유율은 98.0%로 극우점하였으며, 정점 B3에서는 100.0%의 점유율을 보여주었다. 우점종의 평균 점유율은 *Pseudodiaptomus inopinus*가 92.6%로 극우점하였으며, 그 외 copepodite (3.1%), 곤쟁이류 (2.0%), *Oithona plumifera* (0.9%) 등이 출현하였다. 우점종인 *P. inopinus*는 염분도가 상승함에 따라 개체수가 현저히 줄어들었다. 곤쟁이류는 정점 B1, B2에서 나타났고, 그 외 *Pseudodiaptomus marinus*, *O. plumifera* 등은 정점 B4에서 출현하였다.

4. 주요 우점종의 수온·염분의 변화에 의한 분포

본 조사 지역인 불갑천은 계절에 따른 온도와 염분의 변화가 심하게 일어나 이에 따라 중형동물 플랑크톤도 다양한 분포 양상이 나타났다. 이 중에서 두 우점종인 *Pseudodiaptomus inopinus*, *Macrocyclus albidus*의 변화 양상을 보면 다음과 같다.

1) *Pseudodiaptomus inopinus*

*Pseudodiaptomus inopinus*는 2006년 8월~2007년 2월에 걸쳐 불갑천 전 지역에서 출현하였으며 극우점하는 종이다. 계절별 출현 개체수는 10월에 97,631 indiv. m⁻³로 가장 높았으며, 2월에 18,857 indiv. m⁻³가 나타났다(Fig. 5). 분포는 8월에 정점 B1, B2, B4, 10월에 정점 B4를 제외한 모든 정점, 12월에는 정점 B2, B3, 2월에는 모든 정점에서 나타났다. 수온 1.8~28.9°C에서 출현하였으며, 약 20.0°C에서 가장 많은 개체수를 나타내었다.

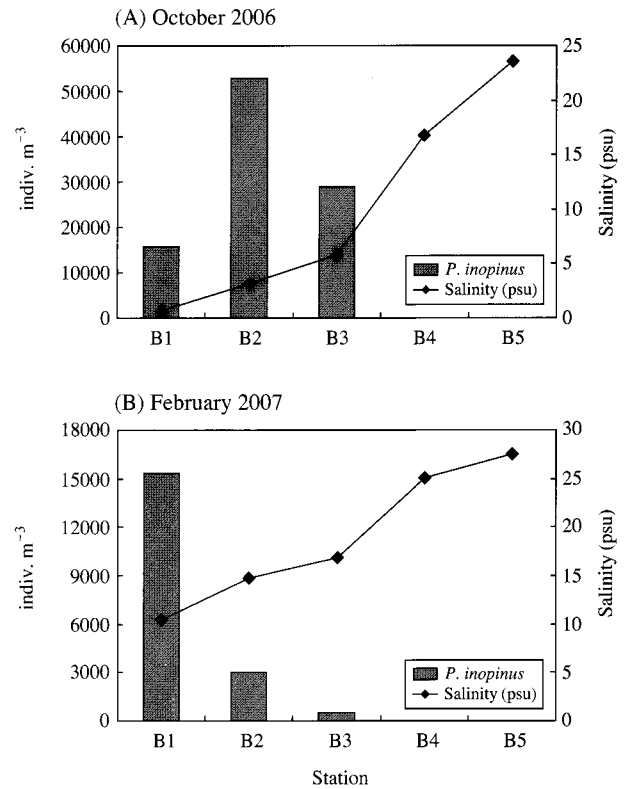


Fig. 5. The abundances of *Pseudodiaptomus inopinus* and salinity (psu) at each station in October 2006 (A) and February 2007 (B).

염분에 따른 분포는 0.0~27.5 psu에서 출현하였으며, 저염도(0.1~14.0 psu)에서 높은 개체수를 보이고, 고염도(16.9~24.0 psu)에서는 극히 낮은 개체 수만이 출현하였다. 하계인 8월 정점 B3에서는 높은 온도(28.90°C)에서는 출현하지 않았으며, 갈수기인 12월에는 개체수가 현저히 줄고 유량이 줄어들음에 따라 정점 B1, B4, B5에서 나타나지 않았다. 2월 정점 B4와 B5에서는 각각 4, 1 개체가 출현한 것으로 보아 염분도 25.0 psu 이상인 지역에서는 극히 낮은 출현 개체수를 나타내었다.

2) *Macrocyclus albidus*

불갑천 일대에서 *Macrocyclus albidus*는 2006년 4월~8월 중에 담수지역의 정점들에서 출현하였다(Fig. 6). 4월 달에 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 7월, 8월로 갈수록 줄어들었다. 4월에는 정점 B1과 B2, 7월에는 정점 B2, 8월에는 정점 B4에서 출현하여, 봄철에서 여름철로 갈수록 하류지역에서 나타나는 경향을 보였다. 수온 15.9~28.9°C에서 출현하였으며, 수온이 상승할수록 적은 개체수가 나타났다. 또한, 염분도 3.0 psu 이상에서는 개체수가 급격히 줄어들었다.

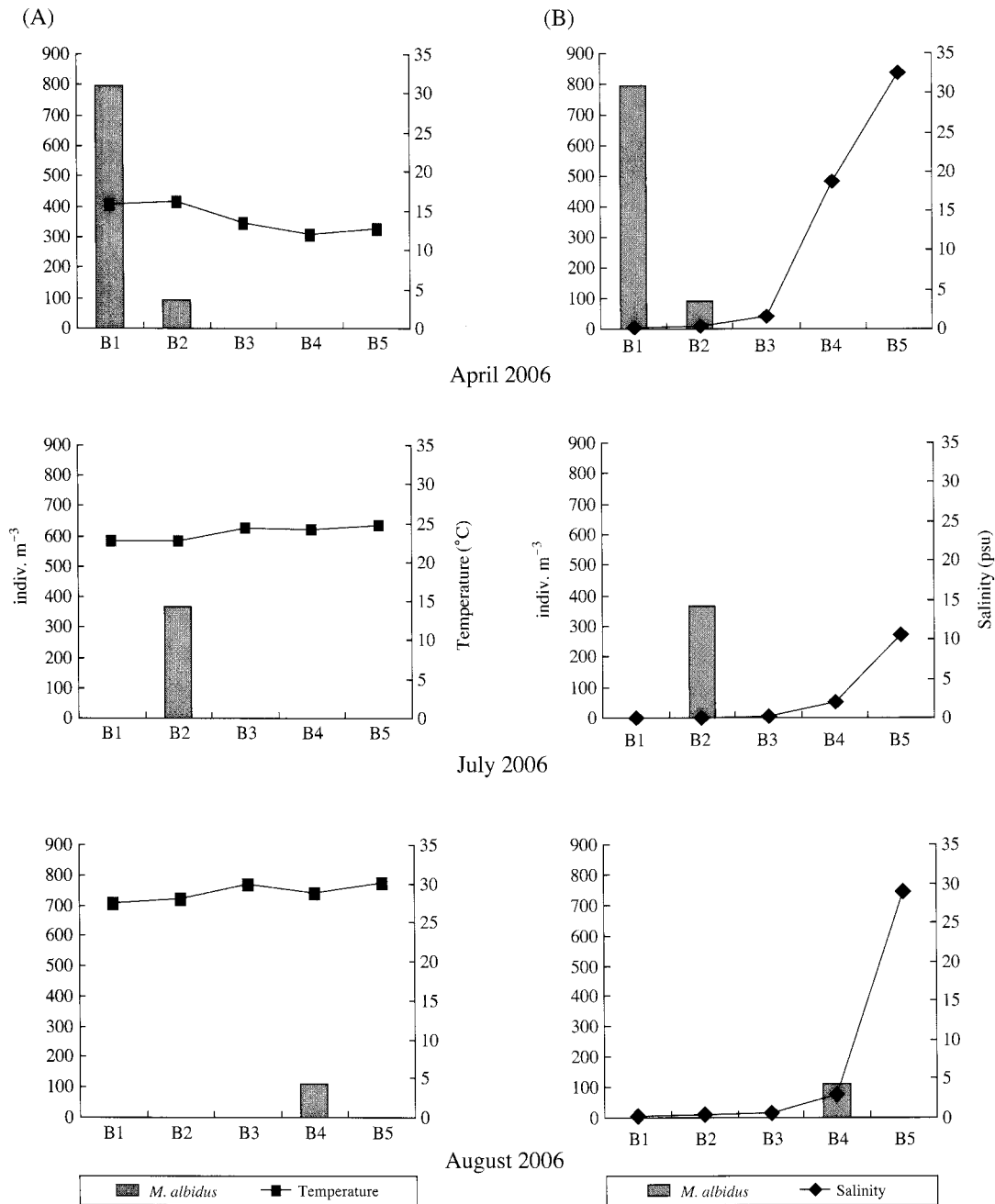


Fig. 6. The abundances of *Macrocyclus albidus* and temperature (A) and salinity (B) at each station in the Bulgap stream.

5. 요각류의 분포와 염분과의 집괴분석

하구 생태계에서 요각류의 분포는 염분과 밀접한 관계가 있으므로 (Day et al. 1981), 염분의 분포양상과 각종의 계절별 출현 양상을 비교하면, 각 무리에 속하는 종들이 계절에 따라 어떻게 무리를 지어 염분의 변화에 적응하고 있는가를 알 수 있다. 각 시기별로 출현한 요각류를 대상으로 정점별 출현량에 따라 종간의 유사성

을 계산하여 수상도를 작성하여 무리를 나누었다 (Figs. 7, 8).

4월의 집괴분석 결과, 크게 두 무리로 구분이 되었다. *Calanus sinicus*, *Acanthocyclops vernalis*, *Macrocyclus albidus*, *Microcyclus longiramus*, *Microarthridion* sp. *Microsetella norvegica*의 “A” 무리와 *Acartia hongii*, *Paracalanus parvus* s.l.의 “B” 무리로 구분이 되었다. “A” 무리에 속하는 종은 염분도 18.8 psu 이하인 지역에서 출현하였

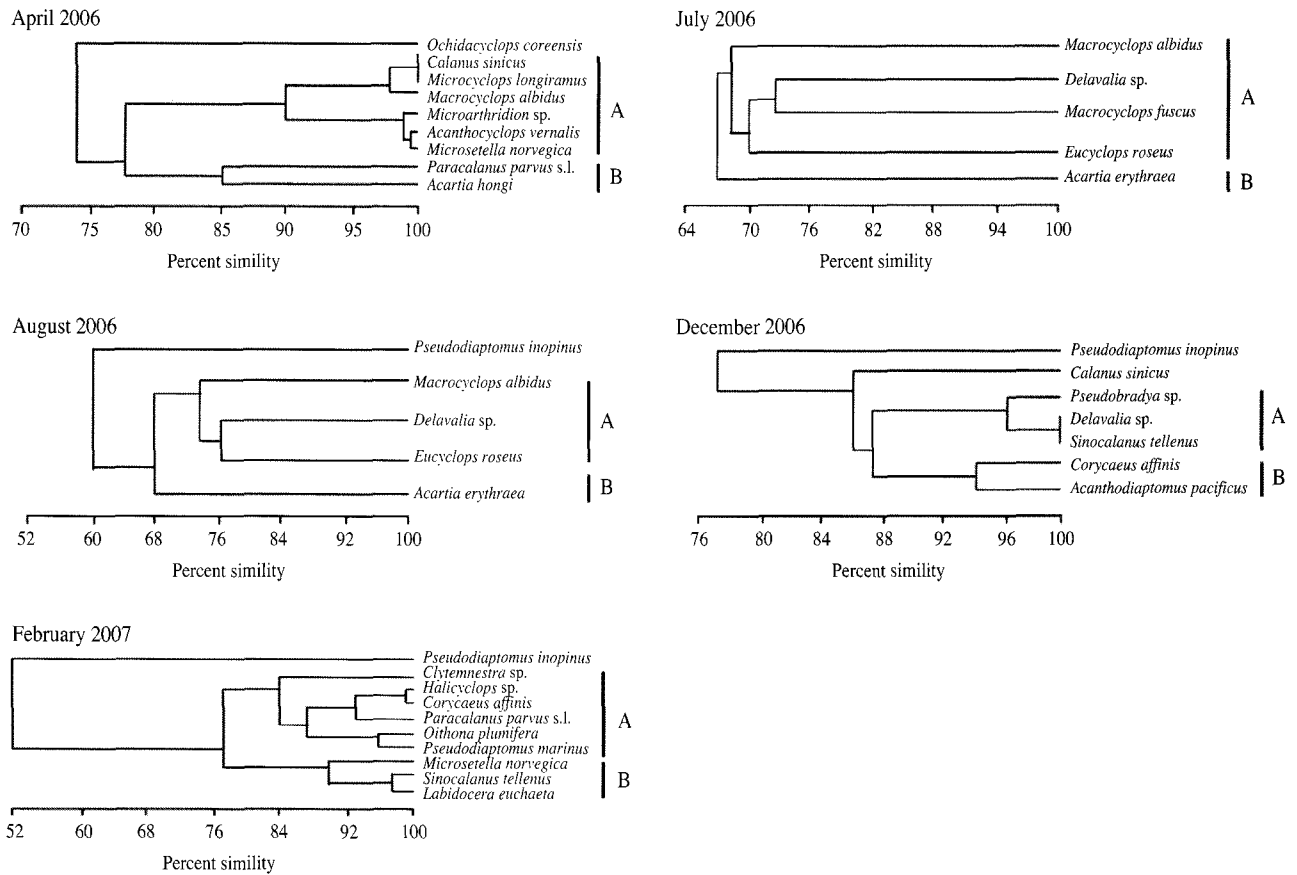


Fig. 7. Dendrogram illustrating the species association depending on the salinity ranges of copepods occurred in the Bulgap stream during the study periods.

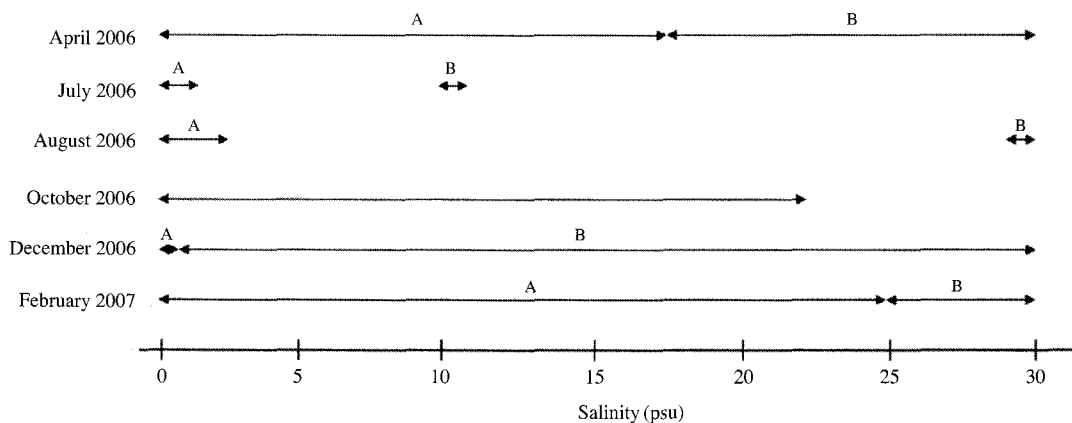


Fig. 8. Salinity range of the copepods group in the Bulgap stream during the study periods.

으며, “B” 무리는 염분도 18.8 psu 이상인 정점 B4, B5의 하류지역에서 출현하였다.

7월에는 *Eucyclops roseus*, *Macrocyclus albidus*, *Macrocyclus fuscus*, *Delavalia* sp.의 무리 “A”와 *Acartia erythraea*의 무리 “B”로 나누어졌다. “A” 무리는 염분도 0.1

~1.9 psu인 저염분에서 출현하였으며, “B” 무리는 염분도 10.5 psu인 정점 B5에서 출현하였다.

8월에도 7월과 유사하게 나타났는데, 출현 염분도 범위가 매우 넓은 *Pseudodiaptomus inopinus*를 제외한 다른 종들은 두 무리가 나타났다. *Eucyclops roseus*, *Macro-*

*cyclops albidus*와 *Delavalia* sp.의 무리 "A"와 *Acartia erythraea*의 무리 "B"로 나타났다. 무리 "A"는 염분도 0.1~3.0 psu의 담수지역에서 출현하였으며, 무리 "B"는 염분도 29.0 psu의 고염분인 지역에서 출현하였다.

10월에는 극우점종 *Pseudodiaptomus inopinus*만 출현하였는데, 염분도 0.7~23.6 psu의 분포를 나타냈다.

12월에는 광범위하게 출현한 *Pseudodiaptomus inopinus*와 극소수의 개체만 출현한 *Calanus sinicus*를 제외하고는 두 무리가 나타났다. *Sinocalanus tellenus*, *Pseudobrydaea* sp., *Delavalia* sp.의 무리 "A"와 *Acanthodiaptomus pacificus*, *Corycaeus affinis*의 무리 "B"로 나타났다. 무리 "A"는 염분도 0.3 psu 이하에서 출현하였으며, 무리 "B"는 염분도 0.3~31.6 psu로 저염분에서 고염분까지의 넓은 범위의 염분 분포를 나타냈다.

2월도 역시 *Pseudodiaptomus inopinus*를 제외하고 두 무리가 나타났다. *Pseudodiaptomus marius*, *Paracalanus parvus* s.l., *Corycaeus affinis*, *Halicyclops* sp., *Oithona plumifera*, *Clytemnestra* sp.의 무리 "A"와 *Labidocera euchaeta*, *Sinocalanus tellenus*, *Microsetella norvegica*의 무리 "B"로 나타났다. 무리 "A"는 염분도 25.1 psu 이상의 고염분에서 출현하였으며, 무리 "B"는 염분도 25.1 psu 이하에서 나타나 무리 "A"와는 구분이 되었다.

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 인자가 된다(Jones *et al.* 1990; Cervetto *et al.* 1999). 그러나 하구 연안에서 동물플랑크톤은 생식활동 조건과 서식조건 범위가 다르게 나타나기도 한다. 즉, 적합한 조건을 벗어난 환경에서 생식이 불가능 하더라도 서식이 가능하다는 것이다. 따라서 조석 주기에 따라 염분이 광범위하게 변화하는 하구 연안에서 동물플랑크톤은 기수종과 해수종이 혼재되어 나타난다(Ambler *et al.* 1985; Krumme and Liang 2004). 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 대부분 연안종이 동물플랑크톤 군집의 주를 이루었으며, 기수종 및 담수

종이 출현하였다.

열대 하구역의 요각류와 염분 분포 양상을 비교한 연구는 인도의 Cochin Backwater를 비롯한 여러 하구에서 이루어졌다(Pillai 1971; Tranter and Abraham 1971; Goswami and Selvakumar 1977). 인도의 하구역은 수온의 변화가 적어 표층수온은 연중 30.0°C를 중심으로 약 5.0~6.0°C의 변동을 보인다. 그러나 우기에 접어들면 염분의 변화는 매우 심하게 나타나 약 30 psu에서 거의 담수가 가깝게 희석이 된다. Tranter and Abraham (1971)은 Cochin Backwater에서 *Acartia*속에 속하는 9종의 요각류 개체군이 염분 변화에 따라 계절적으로 변동하고 있음을 보고하고 있다. 한편 온대역에 속하는 하구역의 특징은 우선 수온의 연변동이 크다는 점이다. 따라서 그곳에서 서식하는 요각류는 1년 동안에 여름은 열대, 겨울은 한대해역과 비슷한 수온을 경험하지 않으면 안 된다. 염분 역시 강물의 유입량 변화에 따라 계절적으로 심하게 변하기 때문에 온대 하구역의 요각류는 이러한 환경에 적응하여 각 종은 어느 일정한 수온과 염분 범위 안에서 분포하게 된다. 염분 역시 강물의 유입량 변화에 따라 계절적으로 심하게 변하기 때문에 온대 하구역의 요각류는 이러한 환경에 적응하여 각 종은 어느 일정한 수온과 염분 범위 안에서 분포하게 된다. 그 결과로 요각류 군집구조의 계절적 변동이 나타난다(Cronin *et al.* 1962; Jefferis 1962; Knatz 1978; Lee and McAlice 1979; Durbin and Durbin 1981; Fulton 1984). 본 조사 지역에서도 염분의 변화가 동물플랑크톤의 종 조성 및 생물량에 가장 큰 영향을 주는 환경요인이었다. 염분의 변화에 따라 각 정점에서 출현하는 우점종의 분포와 양적인 특성이 나타났다.

수분이 없는 자유곡류 하천인 불갑천 지류는 담수의 유입량에 따라서 우점종의 출현양상이 달라졌다. 담수의 유입이 많은 2006년 4월~2006년 8월에는 담수종인 *Macrocyclus albidus*, 담수의 유입이 줄어드는 갈수기인 2006년 10월~2007년 2월에는 기수종인 *Pseudodiaptomus inopinus*가 나타났다. 집괴분석 결과 4월에는 염도 18.8 psu를 기준으로, 7~8월에는 대체적으로 염도 3.0 psu 이하인 지역과 염도 10.5 psu 이상인 지역으로 갈수기인 12월에도 염도 0.3 psu, 2월에는 염도 25.1 psu를 기준으로 출현종의 분포가 나누어져서(Fig. 8), 계절적으로 급격한 변화를 보인 염도에 따라서 출현종의 출현양상이 다르게 나타났다. 그러나 집괴분석 결과 해양종인 *Microsetella norvegica*, *Labidocera euchaeta*, *Calanus sinicus*가 저염에 분포하는 무리로 나뉘기도 하였는데 이들 해산종들은 출현한 정점에 적응하여 장시간 분포하기보다는 일시적으로 저염의 수역으로 조류에 밀려왔던 것

으로 추측된다. 또한, 중형동물플랑크톤의 출현 개체수는 계절에 따른 수온 변화에도 크게 영향을 받았다. 동계인 12월인 겨울의 경우, 폭설을 동반한 기온의 급격한 하강으로 인하여 출현종수 및 개체수가 크게 줄어들었다. 여름과 가을철인 7월~10월에 걸쳐서 높은 출현개체수가 나타났으며, 겨울철인 12월과 2월에 상대적으로 매우 적은 개체수만이 출현하였다.

종다양성 지수는 7월이 1.072로 가장 높게 나타났고, 10월에 0.386으로 가장 낮게 나타났다. 전반적으로 여름철이 높은 경향을 보였는데, 이는 온도에 따른 영향으로 보인다 (McLaren 1978; Huntley and Boyd 1984; Uye 1991; Soh and Suh 1993). 춘계인 4월의 경우 17개의 분류군이 출현하여 가장 다양하게 나타남에도 다양성 지수에서는 13개 분류군이 출현한 7월보다 낮았다. 이는 4월의 경우 *Acartia hongi*와 *Macrocyclus albidus*와 같은 일부 요각류들의 우점도가 매우 높았기 때문으로 생각된다.

본 조사 기간 동안 우점하여 출현한 요각류는 *Pseudodiaptomus inopinus*와 *Macrocyclus albidus*이다. 담수의 유입이 많은 봄철과 여름철에는 *M. albidus*가 가을철과 겨울철에는 기수종인 *P. inopinus*가 출현하여, 자유곡류 하천에서의 계절적 변동을 보여주었다. *M. albidus*는 저서성 종으로 수초 부식질이 있는 물 가장자리나 바닥 근처에 연중 서식하며, 육식성종으로 지각류, 다른 요각류, 빈모류 등을 섭식한다 (Tai and Chen 1979). 또한, 산성에 대한 내성의 범위가 매우 큰 것 (pH 4.4~9.8)으로 알려져 있다 (Dussart 1969; Tai and Chen 1979). 본 연구에서 *M. albidus*는 수온 15.9~28.9°C에서 출현하였으며, 수온이 상승할수록 적은 개체수가 나타났다. 또한, 염분도 3.0 psu에서는 개체수가 급격히 줄어들었으며 그 이상의 염도를 보이는 정점에서는 출현하지 않았다. *P. inopinus*는 2006년 8월에서 2007년 2월에 불갑천에서 우점하였다. *P. inopinus*는 담수와 기수지역에서 서식하는 종으로 지리학적으로 북동아시아에 넓게 분포한다 (Kikuchi 1928, 1936; Mashiko 1951; Kikuchi *et al.* 1978; Shen and Song 1979; Oka *et al.* 1991; Suh *et al.* 1991). 아시아의 기수지역에서 염분도 0.0~5.0 psu에서 가을에 가장 많은 나타나는 종이다 (Oka *et al.* 1991; Suh *et al.* 1991). 또한, 중국이나 한국과의 무역 선박을 통하여 이동되어, 북미 서쪽 해안에도 분포하며 (Cordell and Morrison 1996), 그 지역에서 일 년에 두 번 (늦여름~이른 가을과 늦겨울~이른 봄) 대량 발생을 한다 (Cordell *et al.* 2007). 본 연구에서도 가을철인 10월과 이른 봄인 2월에 많은 개체수가 나타나서 일 년에 두 번 대량으로 출현하는 점이 Cordell (2007)의 보고와 일치하는 것으로 보인다. *P. inopinus*는 온도와 염분에 따라 분포와 출현량

이 뚜렷이 구분이 되었는데, 수온 1.8~28.9°C에서 출현하였으며, 약 20.0°C에서 가장 많은 개체수를 나타내었다. 8월에 정점 B3에서는 출현하지 않은 것으로 보아 29.0°C가 넘는 온도와 2월에 정점 B4, B5에서 각각 4, 1 indiv. m⁻³가 나타난 것으로 보아, 25.0 psu가 넘는 지역에서는 극히 적은 수의 개체만이 출현하며, 31.6 psu가 넘는 지역에서는 출현하지 않았다. 이는 *P. inopinus*가 온도 범위 2.1~30.8°C와 광염성 (0.7~26.6 psu)에서 출현하고 28.0°C에서 가장 크게 우점한다는 Uye *et al.* (2000)의 결과와도 유사하게 나타났다. 이상에서 살펴본 바와 같이, 영광 불갑천 하구역에 분포하는 중형동물플랑크톤은 하계의 일부 정점에서 출현한 지각류와 곤쟁이류를 제외하고 전계절 전정점에서 요각류가 우점하였으며, 출현종의 분포는 수온과 염분의 계절적인 변동에 따라서 크게 좌우 되었다.

적 요

전라남도 영광군 불갑천에 서식하는 동물 플랑크톤을 2006년 4월, 7월, 8월, 10월, 12월, 2007년 2월 6회에 걸쳐 총 5개의 정점에서 채집을 실시하였다. 조사기간 동안 출현한 동물플랑크톤은 44개의 분류군이 나타났으며, 우점한 분류군은 요각류였다. 10월에는 31~53,230 indiv. m⁻³로 조사기간 동안 최고의 정점간 출현 개체수를 보였고, 12월에는 16~97 indiv. m⁻³로 출현한 개체수가 최소로 나타나 시·공간적인 변동을 보였다. 종 다양성 지수는 7월 (1.072)이 가장 높게 나타났으며, 10월 (0.386)이 가장 낮게 나타났다. 우점적으로 출현한 요각류는 *Pseudodiaptomus inopinus*와 *Macrocyclus albidus*였다. 담수와 기수에 서식하는 *P. inopinus*는 2006년 8월~2007년 2월에 걸쳐 모든 정점에서 출현하였으며, 불갑천 지역에서 극우점하였다. 약 20°C에서 가장 많은 개체수를 나타내며, 저염도 (0.1~14.0 psu)에서 높은 개체수를 보이고, 고염도 (16.9~24.0 psu)에서는 낮은 개체수만이 출현하는 것으로 보아 염분도에 따라 분포를 달리 하였다. *M. albidus*는 2006년 4~8월에서 담수 지역에서 출현하였고, 수온이 높아짐에 따라 적은 개체수가 출현하였다.

사 사

본 연구의 전반부는 환경과학연구원의 자체 연구과제인 '하구역 생태계 정밀조사'로 시작되었으며, 환경부의

차세대핵심환경기술개발사업 (Ecotechnopia 21 project)으로 지원받은 과제입니다. 본 연구 논문의 질을 크게 향상시킬수 있도록 자세하게 읽고 날카로운 지적을 해주신 두분 심사위원께 진심으로 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 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.
- 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. pp. 3-114.
- Ambler JW, JE Cloern and A Hutchinson. 1985. Seasonal cycles of zooplankton from San Francisco Bay. *Hydrobiologia* 129:177-197.
- Barlow JP. 1955. Physical and biological process determining the distribution of zooplankton in a tidal estuary. *Biol. Bull.* 109:211-225.
- Boxshall GA and SH Halsey. 2004. An Introduction to Copepod 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.
- Cordell JR and SM Morrison. 1996. The invasive Asian copepod *Pseudodiaptomus inopinus* in Oregon, Washington, and British Columbia estuaries. *Estuaries* 19:629-638.
- Cordell JR, M Rasmussen and SM Bollens. 2007. Biology of the introduced copepod *Pseudodiaptomus inopinus* in a northeast Pacific estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 333:213-227.
- Cronin LE, JC Daiber and EM Hulbert. 1962. Quantitative seasonal aspects of zooplankton in the Delaware River estuary. *Chesapeake Sci.* 3:63-93.
- Day JH. 1981. The estuarine fauna. pp.147-178. In *Estuarine Ecology with particular reference to southern Africa* (Day JH ed.). Balkema. Rotterdam.
- Durbin AG and EG Durbin. 1981. Standing stock and estimated production rates of phytoplankton and zooplankton in Naeaeagansett Bay, Rhode Island. *Estuaries* 4:24-41.
- Dussart B. 1969. Les Copépodes des eaux continentales d'Europe occidentale. pp. 1-292. In Boubée N (ed.) II: *Cyclopoïdes et Biologie*. Paris.
- Fairbridge RW. 1980. The estuary its definition and geodynamic cycle. pp. 1-35. In Olausson E and Cato (ed.). *Chem. and Biogeochem. of Estuaries*. Wiley, New York.
- Fulton RS. 1984. Distribution and community structure of estuarine copepods. *Estuaries* 7:38-50.
- Goswami SC and RA Selvakumar. 1977. Plankton studies in the estuarine system of Goa. *Proc. Symp. Warm Water Zooplankton. Goa*: 226-241.
- Gunter G. 1961. Some relations of euarine organisms to salinity. *Limnol. Oceanogr.* 6:182-190.
- 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.
- Haertel L and C Osterberg. 1967. Ecology of zooplankton, benthos and fishes in the Columbia River estuary. *Ecology* 48:459-472.
- 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.
- Huntly M and C Boyd. 1984. Food-limited growth of marine zooplankton. *Am. Mat.* 124:455-478.
- Huys R, JM Gee, CG Moore and R Hamond. 1996. Matine and Brackish Water Harpacticoid Copepods Part1. 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(1):69-83.
- Jefferis HP. 1962. Copepod indicator species in estuaries. *Ecology* 43:730-733.
- Jones KK, CA Simenstad, DL Higley and DL Bottom. 1990. Community structure, distribution, and standing stock of benthos, epibenthos, and plankton in the Columbia River estuary. *Prog. Oceanogr.* 25:211-242.
- Kikuchi K. 1928. Freshwater Calanoida of middle and southwestern Japan. *Memoirs of the College of Science, Kyoto Imperial University, Series B.* 4:65-79.
- Kikuchi K. 1936. Fresh-water and brackish-water calanoid copepods of Japan with notes on their geographical distribution. *Bull. Biogeog. Soc. Japan.* 6:275-284.
- Kikuchi Y, R Yoshida and S Yamane. 1978. On Calanoida and Cyclopoida in Lake Kita-ura, Ibaraki Prefecture, Japan.

- Bulletin of the Faculty of Education, Ibaraki University. 27:21-45. (In Japanese)
- Kimmerer WJ. 1993. Distribution patterns of zooplankton in Tomales Bay, California. *Estuaries* 16:254-274.
- Knatz G. 1978. Succession of copepod species in a middle Atlantic estuaries. *Estuaries* 1:68-71.
- Krumme U and TH Liang. 2004. Tidal-induced changes in a copepod-dominated zooplankton community in a macrotidal mangrove channel in northern Brazil. *Zool. Stud.* 43:404-414.
- Lance J. 1963. The salinity tolerance of some estuarine plankton copepods. *Limnol. Oceanogr.* 8:440-449.
- 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 Hwang JS. 2004. Diel vertical migration of the planktonic copepods at an upwelling station north of Taiwan, western North Pacific. *J. Plankton Res.* 26:89-97.
- Mashiko K. 1951. Studies on the fresh-water plankton of Central China, I. The Science Reports of the Kanazawa University 1:17-31.
- McLaren IA. 1978. Generation lengths of some temperate marine copepods: estimation, prediction, and implications. *J. Fish. Res. Bd can.* 35:1330-1342.
- 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.
- Oka SI, T Saidho and R Hirota. 1991. *Pseudodiaptomus* (Crustacea, Copepoda) in the brackish waters of mangrove regions in the Nansei Islands, southwestern Japan. *Bull. Biogeogr. Soc. Japan.* 46(8):83-87.
- Pillai PP. 1971. Studies on the estuarine copepods of India. *J. Mar. Biol. Ass. India.* 13:162-172.
- Raymont JEG. 1983. *Plankton and productivity in the oceans.* Oxford, England: Pergamon Press 2:1-51.
- Remane A and C Schlieper. 1971. *Biology of brackish water.* Wiley-Interscience, N.Y. 372pp.
- Rippingale J and P Hodgkin. 1977. Food availability and salinity tolerance in a brackishwater copepod. *Aust. J. Freshwater Res.* 28:1-7.
- Shen C and D Song. 1979. Calanoida. pp. 53-163. In *Fauna Sinica, Crustacea, Freshwater Copepoda* (Research Group of Carcinology, Institute of Zoology, Academia Sinica) (Shen C ed.). Science Press. Peking. (In Chinese)
- Soh HY and HL Suh. 1993. Seasonal fluctuation of the abundance of the plankton copepods in Kwangyang Bay. *Korean J. Environ. Biol.* 11:26-34.
- Suh HL, HY Soh and SS Cha. 1991. Salinity and distribution of zooplankton in the estuarine system of Mankyong River and Dongjin River. *Journal of the Oceanological Society of Korea* 26:181-192. (In Korean)
- Tai AY and GX Chen. 1979. Cyclopoida. 450pp. In *Freshwater Copepoda.* Fauna Sinica, Crustacea (Shen C and Fauna Editorial Committee eds.). Science Press. Beijing.
- Tranter DJ and S Abraham. 1971. Coexistence of species of *Acartiidae* (Copepoda) in the Cochin Backwater, a monsoonal estuarine lagoon. *Mar. Biol.* 11:222-241.
- 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.
- Uye S. 1991. Temperature-dependent and growth of the planktonic copepod *Paracalanus* sp. in the laboratory. pp. 627-638. In *Conference Copepoda* (Uye S, S Nishida and JS Ho eds.). *Bull. Plankton Soc. Japan.*
- Uye S, T Shimazu, M Yamanuro, Y Ishitobi and H kamiya. 2000. Geographical and seasonal variations in mesozooplankton abundance and biomass in relation to environmental parameters in Lake Shinji-Ohashi River-Lake Na-kaumi brackish-water system, Japan. *J. Mar. Syst.* 26:193-207.

Manuscript Received: October 22, 2008

Revision Accepted: November 15, 2008

Responsible Editor: Hyun-Woo Kim