

아산만 해역 중형동물플랑크톤의 시공간적 변동

이창래* · 박 철 · 양성렬¹ · 신용식²

충남대학교 지구환경과학부

¹광주대학교 환경공학과

²목포해양대학교 해양시스템공학부

Spatio-temporal Variation of Mesozooplankton in Asan Bay

C. R. LEE*, C. PARK, S. R. YANG¹ AND Y. S. SIN²

Faculty of Earth and Environmental Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

¹Department of Environmental Engineering, Gwangju University, Gwangju 503-703, Korea

²Division of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

서해 중부 연안에 위치한 아산만의 과거 동물플랑크톤 연구는 주로 3개월 간격의 계절별 자료에 근거하고 있다. 본 연구에서는 상대적으로 짧은 주기의 월별 채집을 바탕으로 동물플랑크톤의 월 변동을 파악하고, 수온과 염분, 식물플랑크톤의 출현량을 환경 요인으로 취급하여 이들의 변화 특성 및 이와 동물플랑크톤 분포와의 관계를 파악하였다. 수온은 시간적으로 전형적인 온대수역의 변화양상을 보여주며, 공간적으로는 만의 안쪽에서 연간 변화의 폭이 다소 크게 나타났다. 염분의 계절변화는 장마에 의한 계절변화가 크며 이 시기 인공담수호의 간헐적인 담수유출이 플랑크톤 생태계에 적지 않은 영향을 미칠 것으로 판단되었다. 식물플랑크톤의 클로로필 양은 과거에 비해 상당한 증가를 보였는데 만의 안과 밖에서 봄철 대증식의 시작과 기간에서 차이가 있었다. 만 안쪽에서 바깥쪽으로 가면서 춘계 대증식이 2월에서 4월로 늦춰졌고, 만 안쪽과 중앙에서는 대증식 기간이 3개월 정도 유지된 반면, 만 바깥쪽에서는 약 1개월 정도로 그 기간이 짧아졌다. 식물플랑크톤의 클로로필 양과 동물플랑크톤의 양, 특히 최 우점종 *Acartia hongii*의 양 간에는 약하지만 의미있는 양의 상관관계를 보였다($p < 0.05$). 과거 계절별 자료에 근거한 시간변동과 비교하여 월별 채집의 필요성이 확인되었다.

Previous studies on zooplankton in Asan Bay were mostly based on samples collected seasonally with three months intervals. Present study was aimed to know the temporal variation of meso-zooplankton distribution using the data collected monthly. Relationships between zooplankton abundances and environmental factors such as seawater temperatures, salinities and chlorophyll-a contents were also studied. Seawater temperature showed typical pattern of seasonal variation found in temperate waters. The fluctuations of environmental factors ranged relatively wider in the inner part of the bay than those in outer part of the bay. Salinity was very low right after the summer rainy period due to the sporadic outflow of freshwater from the adjacent artificial lakes. Sudden changes in salinity seemed to have significant impact on zooplankton assemblages. Chlorophyll-a contents were increased in general when compared with previous reports probably due to the recent human exploitations in the coastal zone, which might enhance the nutrients level. The timing and duration of spring bloom showed geographical differences. In the inner part of the bay it began earlier (February) and last longer (three months) while in the outer part of the bay it began late (April) and last just one month. Zooplankton abundance, especially most abundant taxon *Acartia hongii*, showed weak but significant positive correlation with chlorophyll-a contents. The difference in temporal variation found with two different sampling intervals indicated the necessity of shorter time interval samplings.

Keywords: Mesozooplankton, Chl-a Contents, Sampling Intervals, Asan Bay

서 론

우리나라 서해 연안역은 복잡한 해안선과 큰 조수 간만의 차이로 인해 많은 조간대가 발달하였고 해양생물의 산란 및 성육장으로 이용되기도 한다.

일부 연안역에 방조제를 건설하여 강 연안의 평야지대에 농업 용수를 공급함은 물론 간척으로 농경지가 확장되기도 하며, 공업단지가 조성되어 물류의 이동 통로로도 사용된다. 이러한 연안역의 특성을 가지는 대표적인 해역으로 서해 아산만을 들 수 있다.

*Corresponding author: s_lcr@cnu.ac.kr

서해 연안 중부에 위치한 아산만은 남양호와 아산호, 삼교호 등의 인공호수로 둘러 쌓여있고 이 호수의 담수는 장마기에는 수문을 통하여 내만으로 유출되기도 한다. 또한 내만은 비교적 좁은 수로를 이루고 있으며, 수심은 10-30 m 내외로 얕다. 아산만은 최근에 서해대교 주변의 방조제 물막이 공사가 진행 중이며, 행담도 위락단지가 건설 중에 있고, 화력발전소와 주변 공업단지의 건설 및 가동 등으로 주변 환경이 빠르게 변화할 것으로 예측되기도 한다. 이러한 인근 연안역의 이용은 아산만의 수리역학적 상태에 변화를 초래하여 퇴적 환경을 크게 변화시키고 있으며 (Park and Yoo, 1997), 주변으로부터 유입되는 공장폐수와 생활하수 등의 각종 오염물질은 아산만 내 생물분포에 영향을 줄 것으로 여겨진다.

동물플랑크톤은 하위영양 단계에서 상위 영양단계로 물질 또는 에너지를 전달해주는 중요한 역할을 하고 있다. 동물플랑크톤은 식물플랑크톤을 섭식함에 따라 식물플랑크톤의 감소를 가져오며, 종 조성을 변화시킬 수 있다(Frost, 1980). 또한, 이들의 분포는 어류의 자어 시기의 성장과 생존에 영향을 미쳐 어류의 자원량을 결정짓는 중요한 요인이 되기도 한다(Hjort, 1926; Cushing, 1975). 이러한 면에서 동물플랑크톤 군집의 변동을 파악하는 것은 하위 영양단계와 상위 영양단계의 출현량 변동을 추정하는데 큰 도움이 될 것으로 여겨진다.

아산만 해역의 동물플랑크톤 군집에 대한 과거의 연구로는, 분포와 수직이동(박 등, 1991; 명 등, 1994), 군집의 계절변화(Choi and Park, 1993), 개체수와 출현 분류군수 및 종다양성 지수의 계절변동(Park et al., 1998), 종 구성과 개체수의 장기변동(Lee and Park, 2002) 등이 있다. 이 중에서 박 등(1991)과 Choi and Park(1993) 그리고 명 등(1994)은 1년 혹은 2년 정도의 계절변동을 살펴보고,

Park et al.(1998)과 Lee and Park(2002)은 10여 년간의 계절별 장기자료를 이용하여 동물플랑크톤의 연변동을 살펴보았다. 이렇듯 과거 대부분의 연구는 대체로 1년 중 4계절에 각 1회씩 채집한 자료를 바탕으로 하였고, 보다 짧은 주기인 월별 채집에 근거한 연구는 없었다. 대부분의 동물플랑크톤 연구는 제한된 연구인력과 연구비용의 제약으로 짧은 간격의 채집보다 수온이 동물플랑크톤의 분포에 미치는 영향을 고려하여 수온의 각 계절별 극단을 보이는 시기의 출현량 변동을 보고하는 것이 주를 이루었다. 그러나, 동물플랑크톤은 대부분 월(months) 단위의 생활사를 갖기 때문에 계절변동에 준하는 3개월 단위의 비교적 긴 주기의 채집간격은 많은 정보를 손실할 수 있다(박, 1995). 따라서, 본 연구에서는 기존의 계절별 채집보다 짧은 월별 채집을 통해 중형동물플랑크톤 출현량 변동을 살펴보고, 이를 토대로 기존의 계절변동 자료와 비교하여 관측 주기의 적정성을 판단하고자 하였으며, 하위 영양생태계를 이해하는 기초 자료를 확보하고자 하였다.

재료 및 방법

연구지역인 아산만의 해수 유동은 조석에 지배적이며(최, 1996), 창, 낙조시 수괴의 평균 이동거리는 약 13 km이다(수로국, 1992). 시료의 채집위치는 해수의 이동 규모, 담수 유입의 영향과 수심 등의 지형학적, 환경적 특성을 고려하여 총 5개 정점(정점간 거리 약 7 km 간격)을 설정하였다(Fig. 1). 채집은 2003년 10월부터 2004년 9월까지 매월 실시하였으며(다만 해황 조건이 나빠 선박 운행이 어려웠던 2004년 1월은 제외됨), 채집정점의 수심을 고려하여 매월 사리 때를 중심으로 시료를 채집하였다. 각 정점의 환경요인을 알아보기 위해 CTD(YSI-6600)를 이용하여 수온과 염분

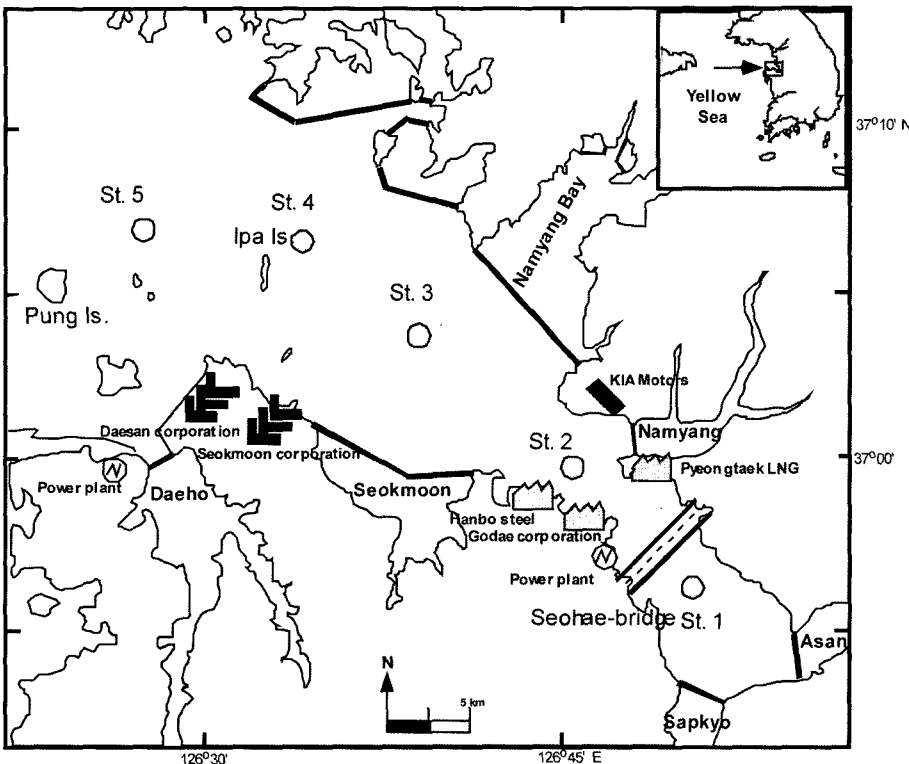


Fig. 1. Map of the sampling sites in Asan Bay.

을 측정하였다. 동물플랑크톤 먹이의 척도로 식물플랑크톤의 클로로필 양을 측정하기 위해 해수를 채수하여 100 ml를 Whatman GF/F로 여과하고, 여과지는 냉동 보관하였다. 분석 전에 90% 아세톤에 여과지를 넣은 후 24시간 동안 냉암소에 보관 한 후 형광광도계를 이용하여 측정하였다(Parsons *et al.*, 1984). 아산만 해역은 조류에 의해 수괴의 수직혼합이 활발한 지역이기 때문에(박, 1989), 표층에서 측정된 클로로필 양을 전체 수층의 클로로필의 대표값으로 간주하였다.

동물플랑크톤의 채집은 원추형 네트(망목 크기 330 μm , 입구 직경 76 cm)를 사용하였으며, 전 수층을 대상으로 사선 인양 방식을 취하였다. 모든 채집은 3회 반복하여 실시되었다. 채집된 시료는 선상에서 중성 포르말린으로 고정하였고, 포르말린의 최종 농도는 개체수에 따라 다소 차이는 있었으나 5-8%가 되도록 하였다. 실험실로 운반된 시료는 Folsom 분할기를 이용하여 개체수가 1,000-1,500개체가 되도록 부차 시료를 취하여 Bogorov 계수판에 넣고 해부현미경을 사용하여 가능한 낮은 단계까지 분류 계수 하였다. 계수된 개체수는 네트입구에 유량계(flowmeter)를 부착하여 네트를 통과한 해수의 양을 측정된 뒤 해수 여과량으로 나누어 단위 체적당 개체수(indiv./m³)로 환산하였다.

결 과

환경요인

조사해역의 물리적 환경요인인 수온과 염분의 월별 분포양상을 살펴보면 수온분포는 1.6-24.3 $^{\circ}\text{C}$ 의 범위로 월 평균 수온은 2월에 가장 낮았고 8월에 가장 높은 전형적인 온대수역의 수온분포를 보였다(Fig. 2). 월별 수온변화는 3-7 $^{\circ}\text{C}$ 였고, 정점 간 수온의 차이는 1 $^{\circ}\text{C}$ 내외에 불과하였다. 만 바깥에서 하계에는 저온, 동계에는 고온의 수온분포를 보여 만 바깥에 비해 만 안에서 상대적으로 변화의 폭이 컸다. 염분의 분포는 12.5-30.8 psu의 범위로 하계 집중호우가 발생하는 6월과 8월 사이에 만 안에서 25 psu 이하의 낮은 염분이 형성되었다. 특히 장마의 영향으로 집중호우가 발생한 시기와 채집시기가 같은 7월의 경우 만 안에서 20 psu이하의 강한 염분구배가 형성되었다. 7월을 제외한 다른 시기에는 약 26-30 psu를 유지하였다. 정점간 염분 차이는 7월을 제외한 다른 대부분의 시기에는 1-3 psu 였으며, 집중 호우기인 7월의 경우 약 8-14 psu의 큰 차이를 보였다. 장마시기에 만 안과 만 바깥의 염분 차이가 컸으며, 대체로 만의 안쪽으로 가면서 낮은 값을 보였다.

생물학적 환경요인인 식물플랑크톤의 클로로필 농도는 조사기

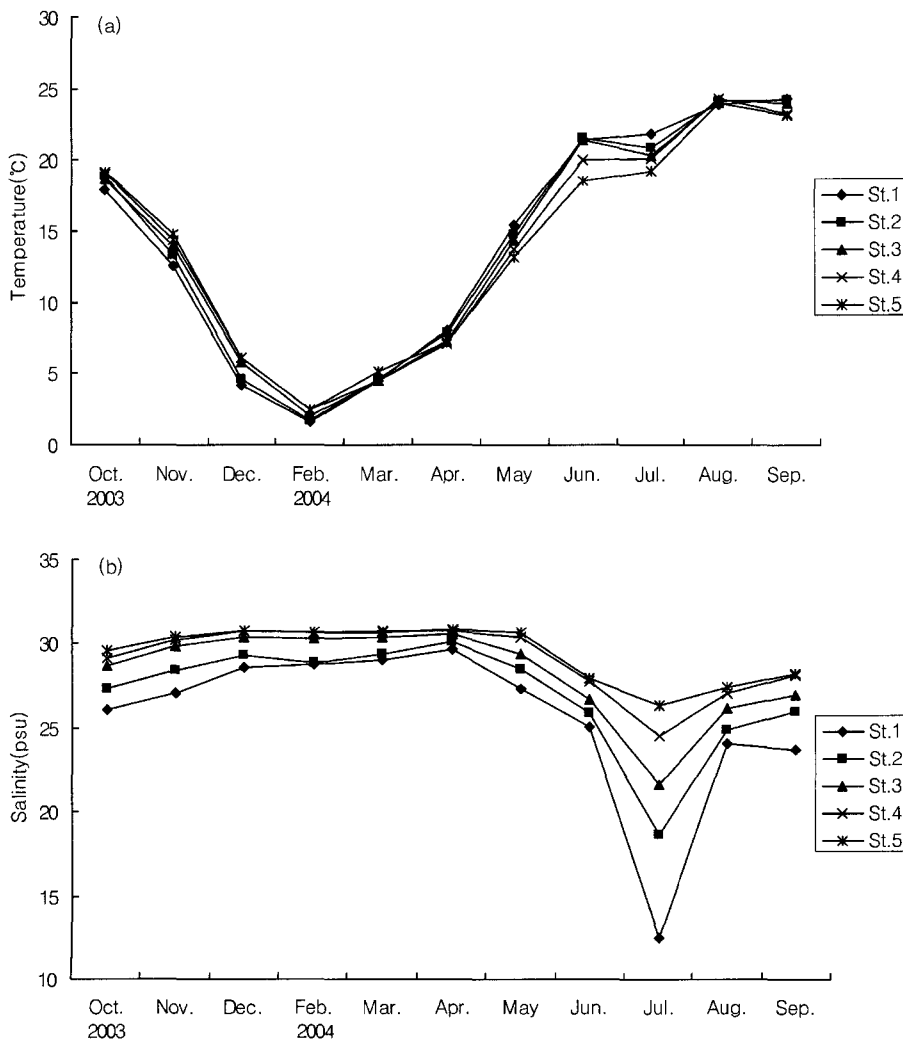


Fig. 2. Spatio-temporal variations of temperature (a) and salinity (b) in Asan Bay.

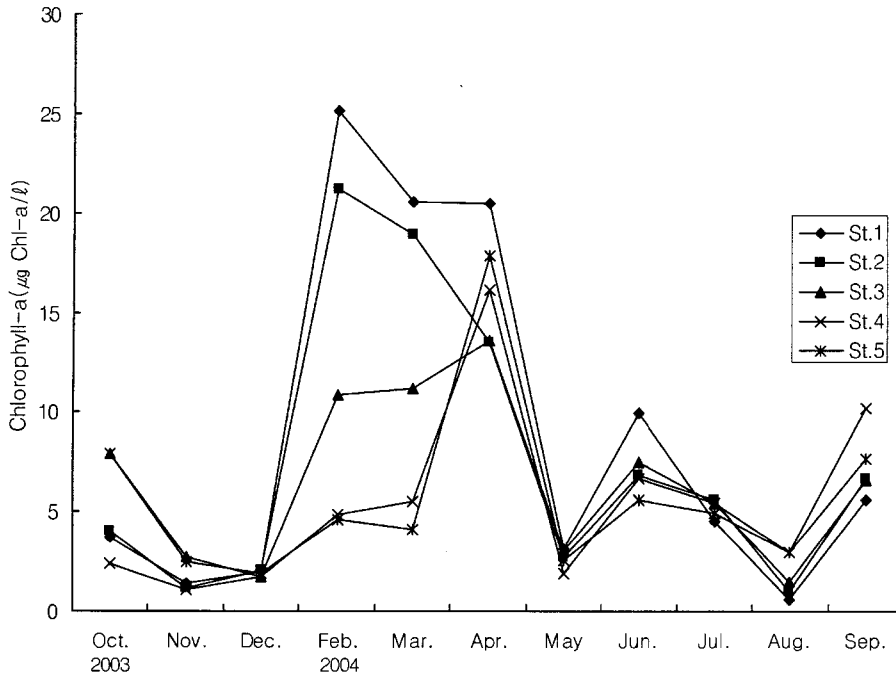


Fig. 3. Spatio-temporal variations of Chlorophyll-a concentration in Asan Bay.

간 동안 평균 1.8-16.3 µg/l의 범위를 보였다. 정점별 분포양상을 살펴보면 만 안쪽인 정점 1에서는 2월에 전 조사시기동안 25.1 µg/l 가장 높았으며, 20 µg/l 이상의 높은 농도가 4월까지 유지되었다 (Fig. 3). 이후 5 µg/l 이하의 낮은 농도를 유지하다 6월에 10.0 µg/l 값을 보였다. 정점 2에서는 정점 1과 유사하였으나, 평균적으로 다소 낮았다. 만 중앙에 위치한 정점 3과 만 바깥에 위치한 정점 4와 5에서는 만 안쪽과는 달리 4월에 클로로필 농도가 가장 높았고, 5월에 5 µg/l 이하의 농도를 보이다가 6월에 5 µg/l 이상의 농도를 보였다. 만 안에서 클로로필 농도가 비교적 높았다.

동물플랑크톤 종 구성과 개체수 분포

연구해역에 출현하는 동물플랑크톤의 분류군은 원생동물(*Noctiluca scintillans*), 자포동물(Hydrozoa로 분류), 모악동물(*Sagitta crassa*), 절지동물(Copepoda, Amphipoda, Decapoda nauplii), 연체동물(Bivalve, Gastropoda 등으로 분류), 미색동물(*Oikoplura* spp.), 어란과 자치어 등으로 구성되었다(Table 1). 이중 요각류는 10속 17개 분류군이, 전체적으로 53개 분류군이 동정되었다.

동물플랑크톤의 출현량은 16-3,111 indiv./m³의 범위였으며, 월별 평균 출현량은 44-2,458 indiv./m³ 범위로 11월에 가장 낮았고, 이후 서서히 증가하여 6월에 가장 높았다(Fig. 4). 평균 출현량은 783 indiv./m³ 였으며, 정점 2에서 1,000 indiv./m³로 가장 높았고, 만 바깥쪽으로 가면서 감소하였다.

주요 우점 분류군의 개체수 분포

아산만에 우점하는 중형동물플랑크톤은 요각류 *Acartia hongii*, *Calanus sinicus*, *Paracalanus parvus* s. l., *Corycaeus affinis*, 십각류 유생(Decapoda nauplii), 모악류 *Sagitta crassa* 등 이었으며, 이들은 전체 동물플랑크톤 개체수의 95% 이상을 점유하는 우점 분류군이었다.

주요 우점종인 요각류 *Acartia hongii*는 평균 출현량이 418 indiv./m³

Table 1. List of zooplankton occurred in Asan Bay.

Dinoflagellate	
<i>Noctiluca scintillans</i>	
Chaetognatha	
<i>Sagitta crassa</i>	
Cladocera	
<i>Podon leuckarti</i>	<i>Evadne tergestina</i>
Copepoda	
<i>Calanus sinicus</i>	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.
<i>Paracalanus crassirostris</i>	
<i>Acartia hongii</i>	<i>Acartia pacifica</i>
<i>Centropages abdominalis</i>	<i>Centropages tenuiremis</i>
<i>Labidocera euchaeta</i>	<i>Labidocera bipinnata</i>
<i>Tortanus fociatus</i>	<i>Tortanus spinicaudatus</i>
<i>Sinocalanus tenellus</i>	<i>Eurytemora pacifica</i>
<i>Corycaeus affinis</i>	<i>Oithona</i> spp.
Harpacticoida	
Appendicularia	
<i>Oikopleura</i> spp.	
Others	
Hydrozoa	Decapoda nauplii
Polychaeta larvae	
Mysidacea	Cirriped nauplii
Amphipoda	Mollusc larvae
Fish egg and larvae	Echinoderm larvae

*Taxa with under lines are the dominant species during this study.

이었다. 10월과 11월에는 20 indiv./m³ 미만으로 출현하다가 12월 이후 증가하여 4월에 1,843 indiv./m³로 가장 풍부하게 출현하였다. 이후 점차 감소하여 7월에서 9월에는 1 indiv./m³ 이하로 그 출

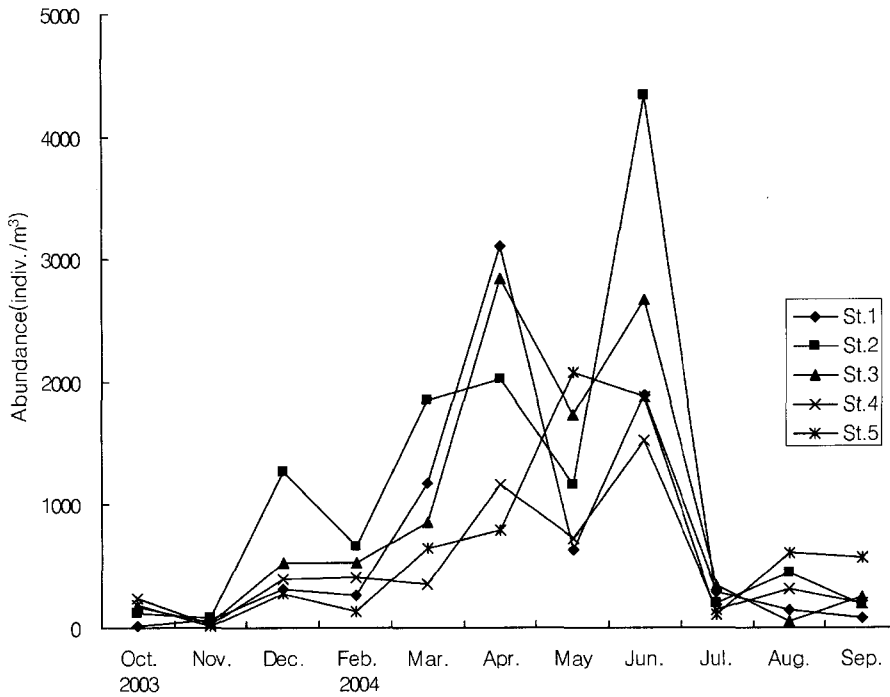


Fig. 4. Spatio-temporal variations of total zooplankton abundance in Asan Bay.

현이 미미하였고(Fig. 5A), 장마기에 출현량이 크게 감소하였다. 정점별 출현 양상은 5월을 제외하면 대체로 만 바깥쪽(정점 4와 5)에 비하여 만 내부(정점 1과 2)와 만 중앙부(정점 3)에서 1.5배 높게 출현하였다. 5월에는 정점 3과 정점 5에서 다소 많은 출현량을 기록하였다.

십각류 유생(Decapoda nauplii)은 평균 출현량이 118 indiv./m³이었다. 10월에 4 indiv./m³ 이하였으며, 수온이 낮아지면서 출현량이 크게 감소하였고, 수온이 가장 낮은 2월에는 전혀 출현하지 않았다(Fig. 5B). 2월 이후 수온이 증가하면서 6월에 848 indiv./m³로 최대 출현량을 기록하였으나 7월에 다시 감소하였다. 정점별 출현은 10월-4월까지 그 출현량이 미미하여 파악하기 어려웠으나 출현량이 증가한 5월부터 7월까지의 분포의 중심이 만 안쪽과 만 중앙부에 위치하였다. 전 달에 비해 8월과 9월에는 출현량이 크게 줄었고, 분포의 중심이 만 바깥쪽(정점 4와 5)으로 이동하였다. 이러한 분포 양상은 성체의 산란기가 봄철에 있음을 알 수 있으며, 수온이 증가함에 따라 성장하면서 혹은 초기 사망을 거치면서 만 바깥쪽으로 이동하는 것으로 추정된다.

모악류 *Sagitta crassa*의 출현량은 평균 45 indiv./m³이었다. 11월부터 4월까지 약 20 indiv./m³이었고, 5월 이후 증가하여 8월에 최대 출현량을 보여 채집시기에 따라 차이는 있지만 아산만에서 연중 출현하는 것으로 조사되었다(Fig. 5C). 정점별로는 불규칙적인 분포 양상을 보였지만 상대적으로 많은 출현량을 보인 시기에는 분포의 중심이 만의 바깥쪽에 위치하였다.

요각류 *Calanus sinicus*의 평균 출현량은 13 indiv./m³이었다. 10월부터 2월까지 1 indiv./m³ 이하로 낮게 출현하다가, 3월부터 증가하여 6월에 평균 100 indiv./m³ 이상이었다(Fig. 5D). 정점별로는 가장 많은 양을 보인 6월을 제외한 대부분의 시기에 뚜렷한 분포 중심의 변화를 볼 수 없었지만, 6월에는 정점 5에서 190 indiv./m³

이상으로 가장 많았고, 정점 2와 3에서도 150-160 indiv./m³가 출현하여 만 전체에 광범위하게 분포하였다.

요각류 *Paracalanus parvus* s. l.의 평균 출현량은 12 indiv./m³이었다(Fig. 5E). 2월부터 5월까지 5 indiv./m³ 이하였으나 6월에 30 indiv./m³ 이상으로 증가하였다. 이후 감소하다가 12월에 다시 40 indiv./m³ 이상의 높은 출현량을 보여 계절적으로 두 번의 증가가 확인되었다. 정점별로는 6월과 12월을 제외한 출현량이 적은 시기에는 만 내 변동을 살펴보기 어려웠으나 6월과 12월에는 만 안쪽과 만 중앙(정점 2,3)에 분포 중심이 위치하였다.

요각류 *Corycaeus affinis*의 평균 출현량은 3 indiv./m³이었다(Fig. 5F). 2월부터 7월까지 1 indiv./m³ 미만으로 출현량이 적었으나, 8월 이후 증가하여 10월에 10 indiv./m³ 이상 출현하였고, 11월과 12월에 다시 감소하였다. 정점별로는 출현량이 적은 2월부터 7월까지 특이점이 없었고, 출현량이 높은 시기에는 만 안쪽보다는 만 중앙부에서 많은 양을 보였다.

토 의

수온 및 염분 변화가 동물플랑크톤 군집에 미치는 영향

조사 해역의 수온과 염분은 만의 안쪽이 바깥쪽에 비해 변화의 폭이 컸고, 장마기에 저염의 특성을 보였다. 이것은 장마기에 인공호수에서 간헐적으로 유출하는 담수가 아산만내 생태계를 불안정하게 만드는 주요 요인이 될 수 있음을 보이는 것으로 일부 우점종의 급격한 변화와도 관련이 있는 것으로 추정된다. 이 추정은 조사기간 동안 나타나는 동물플랑크톤의 종류로도 판단해 볼 수 있다. 봄철에 출현량이 증가하면서 나타나는 종류도 5월 이후 증가하였으나(Fig. 6), 장마의 영향으로 저염의 특성을 보인 7월에는 나타나는 종류수와 출현량이 크게 감소하였다. 염분이 정상적으로

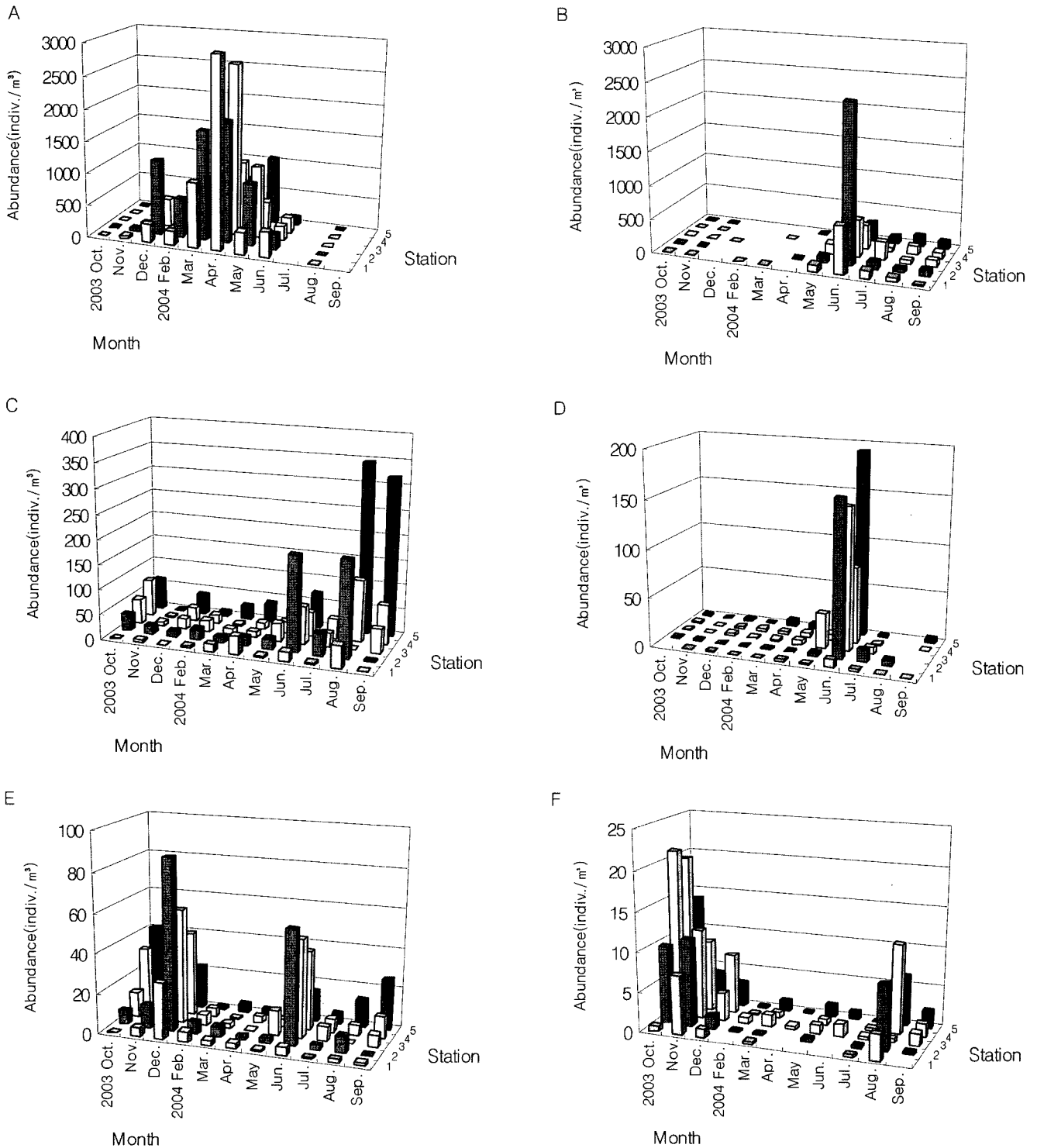


Fig. 5. Spatio-temporal variations of major zooplankton in Asan Bay (A: *Acartia hongii*, B: Decapoda nauplii, C: *Sagitta crassa*, D: *Calanus sinicus*, E: *Paracalanus parvus* s. l., F: *Corycaeus affinis*).

회복되고 수온이 증가하는 8월과 9월로 접어들면서 분류군수는 8월에 일시 증가하다가 9월 이후 수온이 서서히 하강하면서 다시 감소하는 양상을 보였다. 이렇게 단기적인 집중 호우로 인한 일시적인 염분 변화의 영향으로 동물플랑크톤이 감소하는 현상은 섬

진강 하구역에서도 관찰되었다(박 등, 2002). 7월 이후 8월과 9월의 출현량의 지속적인 감소와 분류군 수의 일시적인 회복 후 다시 감소하는 것은 동물플랑크톤이 수온과 염분에 대한 내성 범위가 크다고는 하나(박 등, 2002; Kim, 2003), 짧은 기간 동안 급격

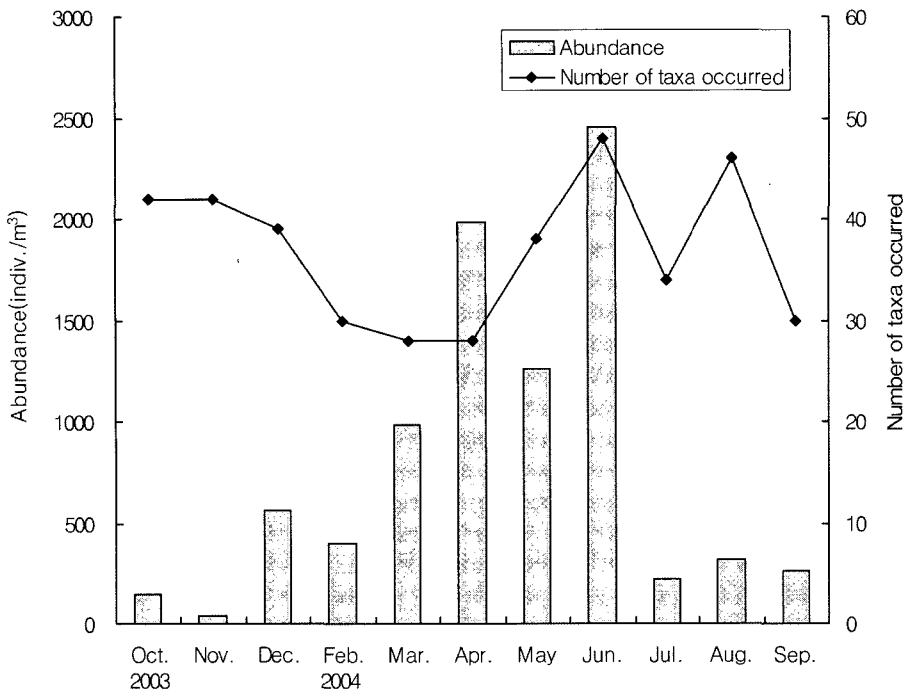


Fig. 6. Distribution of abundance and number of zooplankton taxa occurred in Asan Bay.

히 변화하는 염분이 동물플랑크톤 군집을 불안정하게 하는 중요한 요인이 될 수 있음을 보여주는 것으로 해석된다. 이 연구에서는 한 달 정도의 채집 간격을 통해 일시적인 염분 변화가 동물플랑크톤 군집에 영향을 줄 수 있다는 것을 확인하였으며, 단기적으로 급격한 염분 변화의 영향은 추후 보다 짧은 주기의 채집으로 보다 자세히 연구될 필요가 있음을 보여준다고 할 수 있다.

식물플랑크톤과 동물플랑크톤의 출현량 변동의 상관성

아산만 해역의 클로로필 농도는 0.6-25.1 µg/l로 시공간적으로 큰 차이를 보였으며, 문 등(1993)과 이(1994)의 조사결과(0.11-3.09 µg/l)에 비해 높은 값을 보였다. 일반적으로 온대해역에서는 식물플랑크톤의 대증식이 춘계(3월-4월)와 추계(9월-10월)에 일어나는 것으로 알려져 있는데, 아산만에서는 만내 위치에 따라 대증식 시기가 서로 다른 양상이었고, 만 안쪽에서는 수온이 가장 낮은 2월에 식물플랑크톤 대증식이 시작되었다. 만 안쪽에서는 2월-4월과 6월, 만 중앙부에서는 2-4월, 만 바깥쪽에서는 4월과 9월에 식물플랑크톤 대증식이 발생하였다. 만 바깥쪽에서 안쪽으로 가면서 대증식이 4월(춘계)에서 2월(동계)로 앞당겨졌고, 만내 위치에 따라 대증식 시기가 서로 다를 수 있다. 또한, 대증식 지속 기간 역시 만내 위치에 따라 차이가 있었는데, 만 안쪽과 만 중앙에서는 2월에서 4월까지 약 3개월 정도 유지되었는데 만 바깥쪽에서는 약 1개월 정도로 짧아졌다. 클로로필의 농도는 만 바깥쪽에 비해 만 안쪽에서 변화의 폭이 크고, 식물플랑크톤 춘계 대증식은 만 안쪽에서 시작하여 바깥쪽으로 이동함을 알 수 있다. 아산만의 경우 만 안쪽에서 식물플랑크톤 춘계 대증식이 수온이 가장 낮은 2월부터 시작되었는데, 이것은 일반적으로 온대수역에서 보여주는 경향과는 다른 양상이었다. 이러한 동계 식물플랑크톤 대증식은 인접 경기만에서도 관찰되었다(윤과 최, 2003). 동해의 식물플랑크톤 대증식은 전형적인 온대수역의 경향을 잘 보여주며, 대

증식의 원인 또한 바람세기(wind stress)와 상관성이 큰 것으로 보고하였다(Yamada et al., 2004). 반면, 상대적으로 작은 크기를 가지며, 연안역의 특성을 가진 아산만의 경우 만 안쪽에서 보여주는 동계 식물플랑크톤 대증식은 수온하강으로 인한 활발한 수괴혼합과 주변에서 유입되는 유기물질의 영향으로 추정할 수 있다.

동물플랑크톤의 출현량을 살펴보면 정점 1에서는 3, 4, 6월, 정점 2에서는 3-6월, 정점 3에서는 4-6월, 정점 4에서는 4, 6월, 정점 5에서는 5, 6월에 동물플랑크톤이 크게 증가하였다. 만 안쪽(정점 1과 2)에서는 3월에, 만 바깥쪽으로 가면서 한달 정도 지연된 4월과 5월에 출현량이 증가하였으며, 지속기간 또한 짧아졌다. 이러한 경향은 클로로필 분포와 유사하였다. 식물플랑크톤이 동물플랑크톤에 영향을 미치는 정도를 살펴보기 위해 전체 동물플랑크톤과 클로로필의 상관관계를 살펴보았다. 그 결과 상관정도는 낮지만, 유의적인 양의 상관관계를 보였다($r=0.36, p<0.05$). 주요 우점 분류군으로 나타난 *Acartia hongii*, *Decapoda nauplii*, *Calanus sinicus*, *Paracalanus parvus* s. l.와 클로로필의 상관관계를 각각 살펴보면 *A. hongii*는 유의적인 양의 상관관계를 보였지만($r=0.42, p<0.05$), *Decapoda nauplii*, *C. sinicus*, *P. parvus*는 유의적이지 않았다($p>0.05$). 전체 동물플랑크톤 분포와 유사한 *A. hongii*는 클로로필과의 상관성이 유의적인 결과를 보인 반면, 상대적으로 출현량이 적은 *Decapoda nauplii*, *C. sinicus*, *P. parvus*가 유의적인 상관관계를 보이지 않았다. Youn(2004)은 클로로필의 변화가 바로 동물플랑크톤의 양적 변동으로 이어지지 않고 약 3-4개월 후에 영향을 준다고 하였으나, 본 논문에서는 확인할 수 없었다. 아산만에 분포하는 전체 중형동물플랑크톤의 출현량이 클로로필 농도와 상관관계가 유의하다고는 하나 그리 높지 않고, 주요 우점 분류군의 상관성이 유의하지 않음은 동물플랑크톤의 시공간적 분포가 식물플랑크톤 이외에 다른 요인들에 의해 조절되거나 식물플랑크톤의 양이 높은 값을 보임에 따라 먹이에 대한 영향이 크지 않은 것

으로 추론해 볼 수 있다. 그러나, 1년 동안 한달 간격의 자료를 바탕으로 식물플랑크톤의 대증식이 동물플랑크톤의 분포에 영향을 미치는 지에 대해서는 판단하기 어렵다. 따라서, 식물플랑크톤의 대증식 시기인 3월과 5월 사이에 보다 짧은 주기의 동물플랑크톤의 채집을 바탕으로 자세히 연구될 필요가 있다.

주요 우점 요각류 분포 특징

아산만에서 *Acartia hongii*는 약 5-20 °C 수온범위에서 개체수가 대량 증가하였다. 20 °C 이상의 수온에서는 급격히 감소한 반면, 5 °C 이하의 수온에서는 지속적으로 개체수가 유지되었다. *Acartia* 종 뿐만 아니라 많은 요각류가 수온이 높아지면서 자연사망율과 난생산력이 크게 감소하는 것으로 보고 되고 있다(Kimmer and McKinnon, 1987; Uye, 1988; Uye, 1991; 박과 이, 1995). *A. hongii*는 해역에 따라 차이는 있지만 20-25 °C 이상의 수온에서 개체수가 급격히 감소하는 것은 수온이 증가함에 따라 신진대사율이 높아져 자연사망율이 증가하기 때문으로 판단할 수 있었다. 그러나, 비슷한 수온범위(18-20 °C 내외)를 보인 5-6월(봄)과 10-11월(가을) *A. hongii*의 출현량은 10-11월에 비해 5-6월에 10배 이상 높았다. 두 시기의 수온과 클로로필의 농도가 유의적인 차이를 보이지 않았다는 점을 고려하면, 5-6월에 출현한 개체군은 먹이(높은 클로로필 농도)와 온도조건으로 높은 개체수를 유지한 것으로 판단되며, 10-11월의 고수온기를 경험한 개체군의 경우 자연사망의 증가와 난생산이 감소한 결과 출현량이 크게 감소한 것으로 추정해 볼 수 있다. 일부 연안역에서 고수온기에 *A. omorii*와 *A. hongii*의 출현량이 크게 감소하는 것으로 보고하여 이 같은 사실을 잘 뒷받침해준다(서와 서, 1993; 윤과 최, 2003).

*Calanus sinicus*는 초식성 여과섭식자로 다른 요각류에 비해 상대적으로 크기가 크다는 점에서 소형 어류의 유용한 먹이 생물로서 아산만에서 생태적 위치가 매우 중요한 종이다. 본 연구에서 *C. sinicus*는 6월에 한번의 peak를 보였으나, 박과 이(1995)는 아

산만 해역의 *C. sinicus*가 연중 5월 한번의 peak를 보인다고 보고 하였다. 본 논문에서 보인 6월의 출현량은 박과 이(1995)의 경우와 비슷한 것으로 보아 일시적인 현상으로 추정해 볼 수 있었다. *C. sinicus*는 주로 온대 연안역에 출현하며 넓은 수온 및 염분의 내성을 지닌 종으로 잘 알려져 있다(Chen and Zhang, 1965; Huang and Zheng, 1986; Huang et al., 1993; Hulsemann, 1994). 특히, 각 해역에 따라 수온에 대한 내성 정도가 서로 다른 것으로 보고 되고 있다(Uye et al., 1990; 서와 서, 1993). 연구기간 동안 *C. sinicus*는 2-24 °C의 온도범위에 분포하였고, 14-21 °C(5월-6월) 수온범위에서 가장 많이 출현하였다. *C. sinicus*는 아산만에서 봄철에 다량 출현하고 다른 계절에는 소량 분포하는 것으로 알려져 있지만(Choi and Park, 1993; Park et al., 1998; Lee and Park, 2000), 이들의 유생 분포에 대한 보고는 전혀 없다. 박과 이(1995)는 아산만에서 *C. sinicus*의 알 생산력 실험을 통해 *C. sinicus*의 생활사를 추정하였으나, *C. sinicus*의 유생 분포를 통해 확인되지는 않았다. 따라서, 본 논문에서는 *C. sinicus*의 유생을 발달단계별로 동정하여 박과 이(1995)의 결과를 확인해 보았다. 아산만 해역의 copepodid (유생단계)부터 성체까지의 월별 분포는 유생과 성체 모두 8월부터 2월까지 1-2 indiv./m³ 이하였다(Fig. 7). 3월(5 °C 이상)부터 copepodid 2기와 3기 유생의 출현량이 서서히 증가하여, 4월과 5월에 copepodid 2기와 3기의 유생의 출현량이 가장 많았다. 6월에는 copepodid 4기와 5기 이상의 성체의 개체수가 급격히 증가하였으나, 20 °C 이상의 수온을 보인 7월에는 유생과 성체 모두 1 indiv./m³ 이하의 출현량을 보였다. 이와 같이 *C. sinicus*가 연중 한번 peak를 보인 이후 급격히 개체수가 감소하는 것은 수온 증가로 인한 사망률 증가를 피하기 위해 아산만에서 황해 중부 해역으로 이동하여 황해저층냉수(<10 °C)에서 여름을 보내기 위한 것으로 해석된다(박과 이, 1995; Wang et al., 2003). 봄철 유생분포와 여름이후 가을 유생분포를 통해 박과 이(1995)의 '*C. sinicus*'는 연중 2회(봄과 가을)의 주 산란기를 갖지만, 연중 한번의 peak를

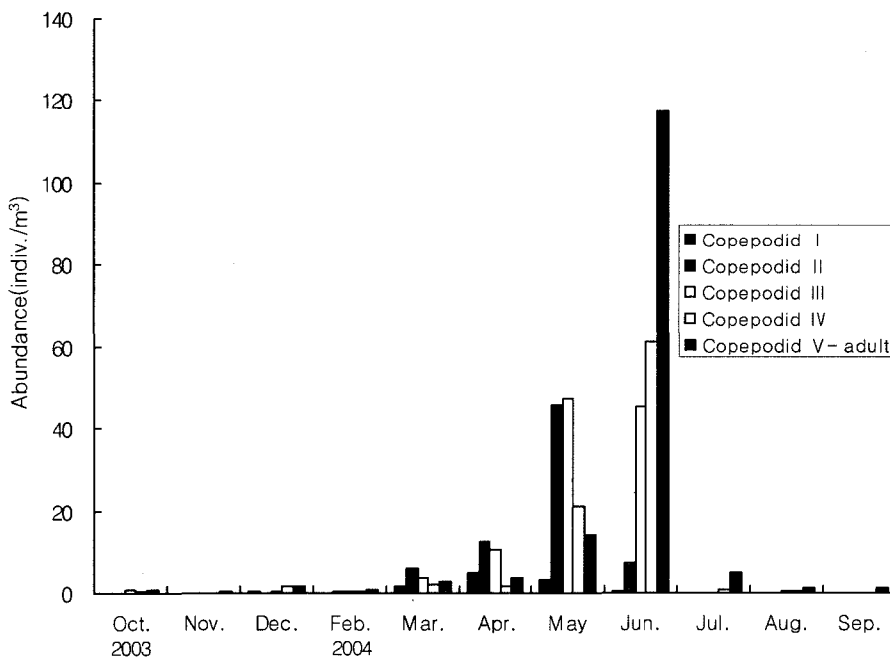


Fig. 7. Abundance of different developmental stages of *Calanus sinicus* in Asan Bay.

보이는 것은 봄철에 산란된 개체군과 가을에 산란된 개체군사이의 수온에 따른 성장의 차이이다'라는 사실을 재확인할 수 있었다. 또한, 박과 이(1995)가 제시한 산란횟수에 대한 문제는 Wang and Zuo(1994)가 황해저층냉수에 분포하는 *C. sinicus* 개체군의 대부분이 주로 copepodid 5기 유생으로서 알 생산율이 매우 낮은 것으로 보고하여, 아산만에 분포하는 *C. sinicus*는 연중 2번의 산란을 하는 것으로 추정할 수 있었다. 그러나, '*C. sinicus*는 산란지역의 환경에 따라 산란 횟수의 차이는 있지만, 연중 산란이 가능하다'(Chen, 1964; Park, 1997; Lin and Li, 1984; 1986; Huang *et al.*, 1993)는 사실을 통해 각 해역의 특성에 따라 산란횟수가 서로 다를 수 있다.

Paracalanus parvus s. l.는 한국의 내만에서 연중 우점적으로 출현할 뿐 아니라 여름에 대량 번식하는 종으로 알려져 있다. 지금까지 우리나라 내만에서 출현하는 *Paracalanus* 속의 종은 *Paracalanus parvus*(이, 1972; 김과 허, 1983; Kim, 1985)와 *Paracalanus indicus*(Shim and Yun, 1990; 서 등, 1991; Han *et al.*, 1991)로 동정하였고, 강(1996)이 두 종을 분류학적으로 재기재하였으나 아직까지 분류학적인 검토가 이루어지지 않고 있으며, 생태정보 또한 전무한 실정이다. 아산만에서 *P. parvus*의 분포는 6월에 내만을 중심으로 우점 출현하였으며, 수온이 낮은 12월에도 비교적 많은 개체수가 출현하여 연중 두 번의 출현량 증가를 보였다. 명 등(1994)은 10월에 연중 한번 출현량 증가를, 윤과 최(2003)는 인접 경기만에서 6월-8월과 10월에 연중 2번의 집중 출현을 보고하였다. 서와 서(1993)는 광양만에서 8월(수온 27°C 이상)에 내만을 중심으로 대량 번식하며, 수온이 가장 낮은 2월에도 상당히 많은 개체수가 분포하는 것으로 보고하였다. 이처럼 *P. parvus*의 시공간적 분포는 연구해역에 따라 서로 달랐다. Uye(1991), Uye and Shibuno(1992)가 일본 연안에 분포하는 *Paracalanus* spp.의 부화율, 성체 사망률, 알생산 등을 통해 이들 생산력에 영향을 미치는 수온과 클로로필 농도에 대한 정보를 제공하면서 *Paracalanus* spp.가 대량 출현하는 수온범위를 제시하였지만, 본 논문과 서와 서(1993), 명 등(1994), 윤과 최(2003)의 자료를 통해 *P. parvus*의 생태적 특성이 해역에 따라 상이할 것으로 판단된다.

중형동물플랑크톤의 계절별 변동과 월별 변동의 차이

과거 아산만 중형동물플랑크톤의 계절 변동은 명 등(1994)이 여름에 평균 1,458 indiv./m³로 가장 많은 출현량을 보고하였으나, 여름과 봄의 출현량의 차이는 100 indiv./m³ 이내로 여름과 봄에 상당히 높은 출현량이 유지되었다. 이 연구와 조사 정점 수와 위치가 유사한 Lee and Park(2002)은 봄에 2,154 indiv./m³, 여름 672 indiv./m³, 겨울 245 indiv./m³, 가을 142 indiv./m³ 순으로 보고하였는데, 명 등(1994)과는 달리 봄철의 출현량이 여름에 비해 약 3배 이상 많았다. 월별 채집 결과, 6월에 최대 출현량(2,458 indiv./m³)을 보였고, 장마 시기인 7월 이후 급격히 감소하여 43-560 indiv./m³ 수준이었다. Lee and Park(2002)에서 보고한 동물플랑크톤 대증식은 5월인데 비해 본 연구에서는 늦봄 또는 이른 여름(6월)이었고, 장마 이전의 3개월 단위의 채집과 1개월 단위의 채집주기에 따른 출현량 변화에 차이가 있었다. 1개월 단위의 채집주기에서 나타난 동물플랑크톤 분포 특성은 장마 직후 전체 동물플랑크톤 개체수가 급격히 감소하여 가을과 겨울에 걸쳐 낮은 수준으로 유

지되다가 봄철 수온 상승과 클로로필 양의 증가로 인해 늦봄에 증가하는 연 1회의 개체수 증가를 보였다.

과거 Lee and Park(2002)의 경우 각 계절을 대표하는 시기를 2월, 5월, 8월, 11월로 하여 동물플랑크톤의 계절변동을 조사하였다. 그러나, 이 시기에는 수온의 각 계절별 특성을 찾기에는 적합하나, 월별 조사를 통해 수온과 동물플랑크톤 출현량 변동간의 주기가 서로 일치하지 않음에 따라 월별 채집의 필요성이 확인되었다.

참고문헌

김동엽, 허형택, 1983. 가로림만 요각류의 계절변화에 대하여. 해양연구, 5: 29-35.
 명철수, 유재명, 김용서, 1994. 아산만 해역의 동물플랑크톤 분포. 한국해양학회지, 29: 366-375.
 문창호, 박철, 이승용, 1993. 아산만의 영양염 및 입자성 유기물. 한국수산학회지, 26: 173-181.
 박 철, 1989. 연안역 동물플랑크톤 시료의 변이: 반복채집 및 시간별 채집의 필요성. 한국해양학회지, 24: 165-171.
 박 철, 1995. 연안생태계 조사방법의 검토. 충남과학연구지, 22: 154-168.
 박 철, 이평강, 1995. 아산만 요각류 *Calanus sinicus*의 알생산. 한국수산학회지, 28: 105-113.
 박 철, 이평강, 양성렬, 2002. 계절 염분 변화에 따른 섬진강 하구역 동물플랑크톤의 분포 변화. 한국해양학회지 바다, 7: 51-59.
 박 철, 최근형, 문창호, 1991. 아산만 동물플랑크톤 분포와 수직이동. 한국수산학회지, 24: 472-482.
 서해립, 서호영, 차성식, 1991. 만경 동진강 하구계의 동물플랑크톤 분포와 염분. 한국해양학회지, 26: 181-192.
 서호영, 서해립, 1993. 광양만의 부유성 요각류 출현량의 계절변동. 한국환경생물학회지, 20: 118-129.
 수로국, 1992. 수로기술연보. 111 pp.
 윤석현, 최중기, 2003. 경기만 동물플랑크톤 군집의 시공간적 분포. 한국해양학회지 바다, 8: 243-250.
 이삼석, 1972. 진해만 및 그 인접해역의 부유성 요각류의 분포. 수진원연구보고, 9: 7-27.
 이승용, 1994. 아산만에서 영양염과 입자성 유기물질의 계절변화. 부경대학교 석사학위논문, 57 pp.
 최양호, 1996. 아산만의 해수순환 수치모델링. 충남대학교 석사학위논문, 61 pp.
 Chen, Q. C., 1964. A study of the breeding periods, variation in sex ratio and in size of *Calanus sinicus* Brodsky., *Oceanol. Limnol. Sinica*, 6: 272-295.
 Chen, Q. and S. Zhang, 1965. The planktonic copepods of the Yellow Sea and the East China Sea. I. Calanoida. *Studia Marina Sinica*, 7: 20-131 (in Chinese with English abstract).
 Choi, K. H and C. Park. 1993. Seasonal fluctuation of zooplankton community in Asan Bay, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 26: 424- 437.
 Cushing, D. H., 1975. Marine Ecology and Fisheries. Cambridge University Press, 278 pp.
 Frost, B. W., 1980. Grazing. In: The Physiological Ecology of Phytoplankton, edited by I. Morris, Blackwell, Oxford, pp. 465-491.
 Han M. S., S. H. Kim and Y. O. Kim, 1991. Influence of discontinuous layer on plankton community structure and distribution in

- Masan Bay, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, **24**: 459–471.
- Hjort, J., 1926. Fluctuations in the year classes of important food fishes. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **1**: 5–38.
- Huang, C., S. Uye, and T. Onbe, 1993. Geographic distribution, seasonal life cycle, biomass and production of a planktonic copepod *Calanus sinicus* in the Inland Sea of Japan and its neighboring Pacific Ocean. *J. Plankton Res.*, **15**: 1229–1246.
- Huang, J. and Z. Zheng, 1986. The effects of salinity on the distribution of some copepods in the Jiulongjiang estuary. *Acta Oceanol. Sinica*, **8**: 83–91 (in Chinese with English abstract).
- Hulsemann, K., 1994. *Calanus sinicus* Brodsky and *C. jashnovi*, nom. nov. (Copepoda: Calanoida) of the North-west Pacific Ocean: a comparison, with notes on the integumental pore pattern in *Calanus* s. str. *Invertebr. Taxon.*, **8**: 1461–1482.
- Kim, D. Y., 1985. Taxonomical Study on Calanoid Copepod (Crustacea: Copepoda) in Korean Waters. Ph. D. Thesis, Hanyang Univ., 187 pp.
- Kim, S. T., J. H. Kim, S. J. Pae and H. J. Jeong, 2003. Salinity effects on the survival of the metazooplankton in the coastal waters off the saemankeum areas. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **38**: 211–215.
- Kimmer, W. J. and A. D. Mckinnon, 1987. Growth, mortality and secondary production of the copepod *Acartia tranteri* in West-ernport Bay, Australia. *Limnol. Oceanogr.*, **32**: 14–28.
- Lee, C. R. and C. Park, 2002. Long-term variation of zooplankton composition and abundance in Asan Bay, Korea: is it influence of dyke construction?. *The Yellow Sea*, **8**: 9–18.
- Lin, Y. and S. Li, 1984. A preliminary study on the life cycle of *Calanus sinicus* Brodsky in Xiamen Harbour. *J. Xiamen Univ. (Natural Sci)*, **23**: 111–117 (in Chinese with English abstract)
- Lin, Y. and S. Li, 1986. Laboratory survey on egg production of marine planktonic copepod *Calanus sinicus* in Xiamen Harbour. *J. Xiamen Univ. (Natural Sci)*, **25**: 107–112 (in Chinese with English abstract).
- Park C., 1997. Seasonal distribution, eggs production and feeding by the Marine copepod *Calanus sinicus* in Asan Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **32**: 85–92.
- Park, C., P. G. Lee and C. R. Lee, 1998. Seasonal variation in abundance, species occurrence and species diversity of zooplankton in Asan Bay, the Yellow Sea over the last eight years. *The Yellow Sea*, **4**: 40–48.
- Park S. C. and D. G. Yoo, 1997. Bedform distribution and sand transport trend on a subtidal sand ridge in a macrotidal bay, west coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **34**: 181–190.
- 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.
- Shim, J. H. and G. H. Yun, 1990. Seasonal variation and production of zooplankton in Chonsu Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **25**: 229–239.
- Uye, S., 1988. Temperature-dependent development and growth of *Calanus sinicus* (Copepoda: Calanoida) in the laboratory. *Hydrobiologia*, **167/168**: 285–293.
- Uye, S., 1991. Temperature-dependent development and growth of the plankton copepod *Paracalanus* sp. in the laboratory. *Bull. Plankton Soc. Japan*, spec. vol., 627–638.
- Uye, S., C. Huang and T. Onbe, 1990. Ontogenetic diel vertical migration of the planktonic copepod *Calanus sinicus* in the Inland Sea of Japan. *Mar. Biol.*, **104**: 389–396.
- Uye, S., N. Shibuno, 1992. Reproductive biology of the planktonic copepod *Palacalanus* sp. in the Inland Sea of Japan. *J. Plankton Res.*, **14**: 343–358.
- Wang, R. and T. Zuo, 2004. The Yellow Sea Warm Current and the Yellow Sea Cold Bottom Water, their impact on the distribution of zooplankton in the southern Yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **39**: 1–13.
- Wang, R., T. Zuo and K. Wang, 2003. The Yellow Sea Cold Bottom Water - an overwintering site for *Calanus sinicus* (Copepoda, Crustacea). *J. Plankton Res.*, **25**: 169–183.
- Yamada K., J. Ishizaka, S. Yoo., H. Kim and S. Chiba, 2004. Seasonal and interannual variability of sea surface chlorophyll a concentration in the Japan/East Sea (JES). *Prog. Oceanogr.*, **61**: 193–211.
- Youn, S. H., 2004. Spatial and Temporal Distribution of Zooplankton Community and Production of Copopod *Acartia hongii* in Kyeonggi Bay, Korea. Ph.D. Thesis, Inha Univ., 306 pp.

2005년 9월 6일 원고접수

2005년 12월 16일 수정본 채택

담당편집위원: 서해립