

아산만 해역에서 장마기 전후 중형동물플랑크톤 군집의 변화

이두별* · 박 철 · 양성렬¹ · 신용식²

충남대학교 해양환경과학과

¹광주대학교 소방방재학과

²목포해양대학교 해양시스템공학부

Changes in Mesozooplankton Community Around the Rainy Season in Asan Bay, Korea

DOOBYOUL LEE*, CHUL PARK, SUNGRYULL YANG¹ AND YONGSIK SHIN²

Department of Oceanography and Ocean Environmental Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

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

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

아산만에서 장마기 전·후 수온, 염분, 영양염, chlorophyll *a* 농도와 중형동물플랑크톤 등에 대해 분포의 특성과 이들 간의 관계를 파악해 보았다. 장마기에 담수 유입에 의한 환경 변화는 동물플랑크톤과 식물플랑크톤(chlorophyll *a*) 분포에 직접적인 영향을 주었다. 장마기에 유입된 담수로 인해 영양염 농도는 높아졌고 동물플랑크톤 개체수는 크게 감소하였다. 반면, 식물플랑크톤(chlorophyll *a*)은 장마기 종료 시점에 생체량이 증가하였다. 이는 방조제로부터 유출수 증가에 따른 동물플랑크톤 감소와 영양염 유입의 증가가 나타난 후 식물플랑크톤의 생체량이 증가하는 생물학적 과정이 연결되어 나타난 것으로 판단된다. 동물플랑크톤의 분포는 수온 변화에 따라 종별로 다른 양상을 보여 봄철 우점종과 여름철 우점종으로 구분 지을 수 있게 하였다. 이는 수온이 역시 중요한 분포요인이 됨을 보여 준다. 그러나 장마로 인한 염분 변화는 전체 동물플랑크톤의 분포에 큰 영향을 주었으며 특히, *Noctiluca scintillans*, *Acartia pacifica*, *Sagitta crassa*에게는 수온보다 장마로 인한 염분 변화가 더 크게 작용한 것으로 판단되었다.

Characteristics in distributions of T, S, nutrients, chlorophyll *a* concentrations and meso-zooplankton abundances and the relations among these parameters were investigated with the data collected in Asan Bay around the rainy season from May 24 till August 25, 2006 at about 10 days interval. Freshwater input during the rainy season clearly affected the distributions of zooplankton and phytoplankton (chlorophyll *a*). Freshwater discharge resulted in high nutrients decreased zooplankton abundances. On the contrary, chlorophyll *a* concentrations increased at the end of the rainy season. It seemed that the increase of chlorophyll *a* concentrations was the result of the decreased zooplankton and enriched nutrients caused by freshwater discharges. Seawater temperatures were certainly the reason for the zooplankton succession. However, overall abundance of zooplankton and abundances of some zooplankton such as *Noctiluca scintillans*, *Acartia pacifica*, and *Sagitta crassa* seemed to be influenced by lowered salinity caused by heavy rain rather than seawater temperatures.

Keywords: Mesozooplankton, Chlorophyll *a* Concentration, Heavy Rain, Asan Bay

서 론

서해 연안의 아산만은 인근지역에 많은 간척 사업이 이루어졌으며, 대규모 국가 산업단지 및 방조제 등이 건설되어 해양환경 변화를 줄 것으로 예상되는 지역이다. 농업용수의 공급과 주변 공업 단지의 물류 수송을 위한 통로로 건설된 남양, 아산, 삼교방조제 등

의 인공호에서 유출되는 담수는 아산만 내의 해양생태계에 염분과 영양염 변동의 직접적인 원인이 된다(문 등, 1993). 또한, 이렇게 일시적으로 유입되는 담수는 만내에 서식하는 일차 생산자인 식물 플랑크톤과 이를 소비하는 동물플랑크톤의 분포에 많은 영향을 줄 것으로 여겨진다.

아산만은 서해 연안 중부에 위치한 하구역으로 내만은 비교적 좁은 수로를 이루고 있으며 수심은 10~30 m 내외이다. 일반적으로 하구역은 담수와 해수가 혼합되는 지역으로 지형 특성, 조석, 그리

*Corresponding author: vernatwo@cnu.ac.kr

고 담수 유입량의 변화 등에 따라 환경 변화가 심한 곳이다. 아산만과 같이 인공호로 둘러싸인 하구역은 주변 방조제에서 유입되는 담수로부터 영양염이 공급되어 생물 생산성이 높다. 이러한 높은 생물 생산과 얕은 수심, 외해로부터 보호 등의 이유로 많은 수산 생물이 산란 및 보육장으로 이용하므로 하구역은 생태학적으로 매우 중요한 곳이다. 여러 환경 요인 중에서 하구역 환경 변화의 가장 중요한 요인은 염분이라고 할 수 있다. 염분은 생물의 삼투조절이라는 면에서 매우 중요하데, 이동능력이 있는 생물의 경우 적절한 염분 범위를 찾아 서식지를 선택할 수 있는 반면에 이동 능력이 매우 작은 플랑크톤의 경우는 그 분포가 염분 변화에 따라 결정된다(Gunter, 1961; Jone *et al.*, 1990).

아산만 해역에서 식물플랑크톤에 대한 과거 연구로는 문 등(1993)에 의한 영양염과 입자성 유기물에 대한 연구 외에는 전무한 실정이었으나, 최근 이 등(2005)과 현 등(2006)에 의해 식물플랑크톤의 계절적 군집 분포 특성과 시공간적 변화에 따른 분포 등이 연구되었다. 동물플랑크톤에 대한 과거 연구로는 분포와 수직이동(Park *et al.*, 1991; 명 등, 1994), 동물플랑크톤 군집의 계절적 변동(Choi and Park, 1993), 우점 요각류 *Calanus sinicus*의 분포와 알생산 연구(박과 이, 1995; Park, 1997), 개체군의 계절적 변동과 종다양성 지수(Park *et al.*, 1998), 개체군의 장기변동(Lee and Park, 2002) 등이 있다. 과거의 동물플랑크톤 연구를 통해 아산만의 계절적 변동, 종다양성 지수, 우점 요각류의 알 생산력, 그리고 장기 자료를 통한 연간 변화 양상 등이 파악 되었다. 그러나 과거 대부분의 연구는 연중 4계절의 계절변화를 중심으로 연구되었다. 동물플랑크톤의 생활사는 대부분 월 단위로 이루어지기 때문에 짧은 단위의 채집을 통해 보다 세밀히 연구되어야 할 필요가 있다.

아산만은 비교적 크기가 작은 만(면적 580 km², 길이 30 km)으로 장마기와 같은 집중적인 강우시에 주변 방조제에서 유출되는 담수는 플랑크톤 군집에 많은 영향을 줄 것으로 예상된다. 담수의 유입은 염분 하강과 영양염 공급이라는 점에서 변화 요인으로 인식되는데 이 두 요인이 동식물플랑크톤에 어떻게 영향을 미칠지는 쉽게 예측하기 어렵다. 본 연구에서는 장마가 시작하기 전인 5월 말부터 장마가 끝난 뒤인 8월 말까지 3개월 동안 약 10일 간격의 집중적인 채집과 관측을 통하여 장마기간 동안 간헐적이고 집중적인 담수 유입이 해양생태계의 하부 구조에 어떤 영향을 미치는지 파악해 보고자 하였다.

재료 및 방법

연구해역인 아산만의 해수 이동 규모, 수심, 담수 유입의 영향 등을 고려하여 총 5개 정점(정점간 거리 7~10 km 간격)을 설정하였다(Fig. 1). 채집과 관측은 2006년 5월 24일부터 2006년 8월 25일까지 약 10일 간격으로 실시하였다. 각 정점의 수온, 염분은 CTD (YSI-6600)로 측정하였다. 조사기간 동안 강수량은 기상청 자료를 이용했으며, 방조제 방류량은 경기도 평택시와 충남 당진시 한국농촌공사의 자료를 이용하였다.

화학적 환경요소 측정

영양염(아질산염(NO₂), 질산염(NO₃), 암모니아(NH₄), 인산염(PO₄), 규산염(SiO₂))의 측정을 위하여 각 정점에서 Niskin 채수기를 이용

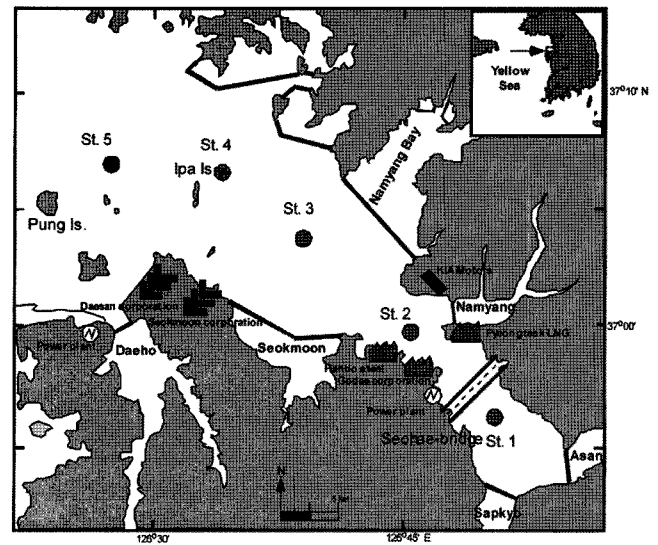


Fig. 1. Map of the sampling sites in Asan Bay.

하여 채수하였다. 조사 해역의 수심이 약 5~30 m로 각 정점별로 차이가 크기 때문에 해수를 일정 간격으로 채집하지 않고 표층은 약 1~2 m 간격으로 채집하였으며, 중층은 각 정점에서 최대 수심의 중간 수심을 정하여 채집하였고, 저층은 퇴적층의 약 1~2 m 위에서 채집하였다. 채수된 시료는 직경 25 mm GF/F filter를 통과시킨 후 여액을 20 ml plastic vial에 넣어 dry ice를 이용하여 냉동 보관 후 실험실로 운반하였다. 분석 전까지 -20 °C로 냉동 보관 하였으며 Parsons *et al.* (1984)의 방법에 의해 Autoanalyzer (Bran-Luebbe, TRAACS2000)를 이용하여 분석하였다.

Chlorophyll a 농도 측정

식물플랑크톤의 양적 분포를 알아보기 위해 각 정점에서 chlorophyll a 농도를 측정하였다. Chlorophyll a 농도의 변화는 영양염의 변화에 민감하게 반응하므로, 시료의 채집은 Niskin 채수기를 이용하여 영양염 분석 시료와 같은 수심에서 채집하였다. 채수된 해수는 직경 25 mm GF/F filter로 250~500 ml를 여과하여 -20 °C로 냉동 보관 후, 90% 아세톤으로 냉암소에서 24시간 동안 추출하여 UV-Visible spectrophotometer (Uicam 4-100)를 이용하여 측정하였다(Parsons *et al.*, 1984).

동물플랑크톤의 채집

동물플랑크톤은 원추형 네트(망목 크기 330 μm, 입구 직경 76 cm)를 사용하여, 전 수층을 대상으로 사전 인양하여 채집하였다. 모든 채집은 각 정점에서 3회 반복하여 실시하였다. 채집된 시료는 선상에서 증성 포르말린으로 고정하였으며, 최종 농도는 5~8%가 되도록 하였다. 채집된 시료는 실험실에서 Folsom 분할기를 이용하여 개체수가 1,000~1,500개체가 되도록 부차시료를 취하여 Bogorov 계수관에 넣고 해부현미경과 광학현미경을 사용하여 가능한 낮은 단계까지 분류 계수하였다. 계수된 개체수는 네트 입구에 부착된 유량계(flowmeter)로 여과된 해수량을 계산하여 단위 체적당 개체수(indiv./m³)로 환산하였다.

결 과

강수량 변동 및 수온·염분 변화

장마철 집중적인 강우의 영향을 파악하고자 하는 본 연구의 목적상 채집 기간을 강수량 변동과 수온, 염분의 변화를 통해 장마기 전과 후, 그리고 장마기로 구분하였다. 아산만 지역에 5월부터 8월 까지 내린 강수량은 5월에 평균 134 mm였고, 계속 증가하여 7월

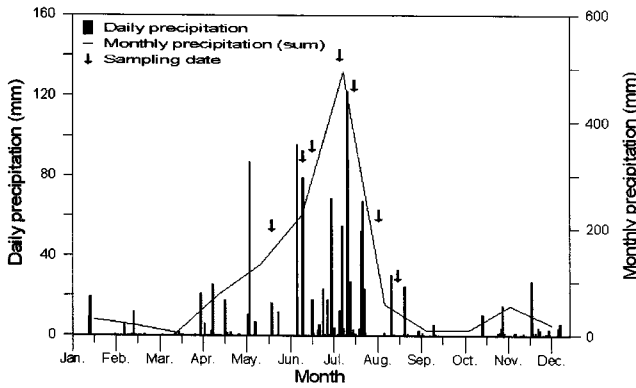
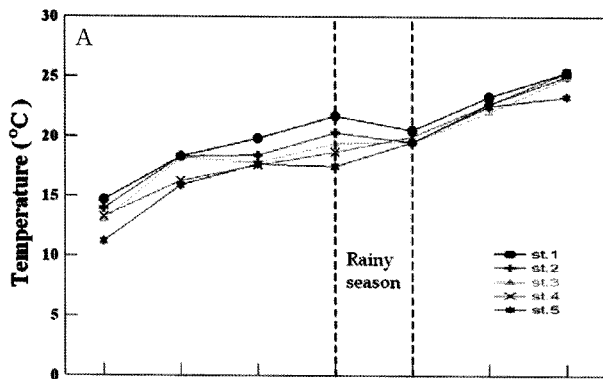
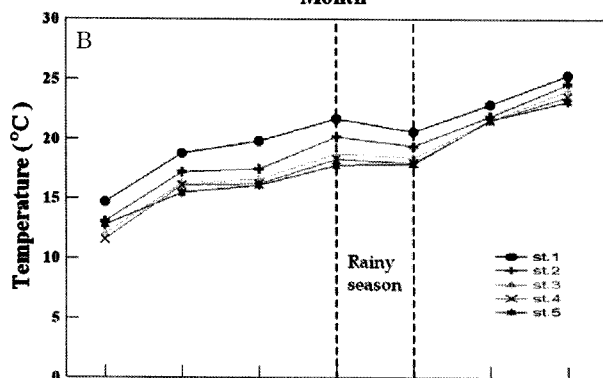


Fig. 2. Daily mean and monthly sum of precipitation in Asan Bay during 2006.



May 24 Jun. 16 Jun. 23 Jul. 13 Jul. 24 Aug. 11 Aug. 25



May 24 Jun. 16 Jun. 23 Jul. 13 Jul. 24 Aug. 11 Aug. 25

Fig. 3. Temporal variations in seawater temperatures in Asan Bay from May 24 to August 25, 2006 (A: surface, B: bottom).

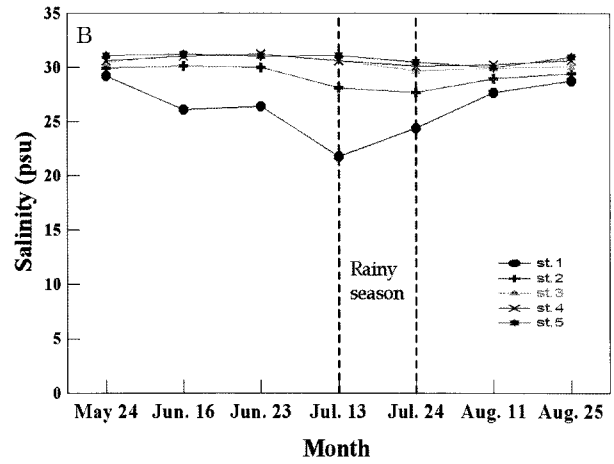
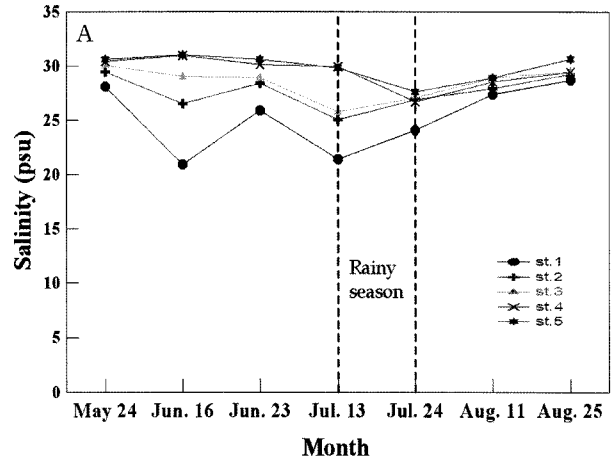


Fig. 4. Temporal variations in salinities in Asan Bay from May 24 to August 25, 2006 (A: surface, B: bottom).

에는 495 mm로 5월에 비해 3배 이상 높았으며, 8월에는 평균 58 mm로 감소하였다(Fig. 2).

월별 평균 수온은 5월에 13.3 °C, 6월에 17.6 °C, 7월에 19.4 °C, 8월에는 23.5 °C로 봄철(5월)에서 여름철(8월)로 가면서 증가하였다. 집중 호우가 내린 후인 5차 조사(7월 24일)에는 4차 조사(7월 13일) 시기보다 일조량의 감소로 인해 수온이 일시적으로 감소하는 현상(0.3~1 °C 감소)이 상대적으로 수심이 낮은 만의 안쪽 정점을 중심으로 나타났다. 수온의 수심별 변화의 폭은 1~3 °C 범위로 표층과 저층간 차이는 크지 않았다. 공간적으로는 수심이 낮은 만의 안쪽에서 변화가 많았고, 바깥쪽으로 가면서 적었다(Fig. 3).

염분의 변화는 방조제 담수 유입의 영향을 직접적으로 받는 만의 안쪽과 그 영향이 적은 바깥쪽 정점에서 채집 시기별로 큰 차이를 보였다. 조사 시기별로 정점 간 염분 변화를 보면 5월 24일(1차 조사)에는 28.0~31.6 psu 범위로 만의 안과 밖에서 큰 차이가 없었다. 6월 16일(2차 조사)에는 집중 호우로 인해 수심이 낮은 만의 안쪽 정점 1의 표층에서는 18.9 psu까지 낮아졌고, 이 영향은 6월 23일(3차 조사)까지 이어졌다(정점 1의 표층: 25.9 psu). 집중호우가 내린 7월에는 만의 안과 밖에서 모두 염분이 감소하였다. 7월 13일(4차 조사)에는 만의 안쪽 정점 1의 표층에서 20.9 psu, 정점 2와 3의 표층에서도 25 psu 내외로 담수의 영향이 만의 안쪽에서

바깥쪽으로 표층을 따라 퍼져 나갔음을 알 수 있었다. 7월 24일(5차 조사)에도 정점 1~4의 표층에서는 평균 26.2 psu로 낮은 염분 분포를 보였다. 8월의 6차, 7차 조사에서는 27.3~31.0 psu 범위, 평균 29.3 psu로 장마기의 영향에서 벗어난 것으로 여겨진다(Fig. 4).

아산만 지역은 연평균 기온이 11.5°C, 강우량은 연평균 1,196 mm 인 개방형만으로, 연평균 강우량은 여름철 강수량에 의해 좌우된다(현 등, 2006). 본 연구 기간 동안 강수량은 7월에 가장 높았고, 집중 호우로 인한 일조량 감소로 일시적으로 수온이 낮아지는 현상도 보였다. 염분 또한 7월에 가장 낮았다. 이에 본 연구에서는 5월과 6월의 1~3차 채집 시기를 장마기 전으로, 염분의 급격한 변화가 있는 7월의 4, 5차 채집 시기를 장마기로, 염분 분포가 안정화 되는 8월의 6, 7차 채집시기를 장마기 후로 간주하였다.

영양염 농도 변화

수층을 평균한 영양염 농도는 시간별로 만의 안쪽에서 변화의 폭이 컸고, 장마기 전에는 계속 증가하다가 장마기가 시작되는 7월 13일(4차 조사)에 최대값을 나타냈으며 장마가 끝날 즈음인 7월 24일(5차 조사)부터 농도가 감소하기 시작하여 8월에는 최저값을 나타냈다(Fig. 5).

질산염+아질산염 농도는 0.9~63.0 μM 범위로, 전반적인 변화는 장마기 이전에는 증가하다가 장마기인 7월 13일에 최대값(63.0 μM)을 나타낸 후 감소하는 양상을 보였다. 농도 변화의 폭은 만의 안쪽에서 크게 나타났고 장마기 이후 전 정점에서 농도가 감소하였

다(Fig. 5A).

암모니아의 농도는 1.2~21.5 μM 범위로, 장마기 전과 장마기에 만의 안과 밖에서 분포 양상이 상반되게 나타났다. 만의 안쪽은 5월 이후 증가하여 6월에 최대값을 나타낸 후 장마기부터 감소하였다. 만의 바깥쪽에서는 5월 이후 농도가 점차 감소하여 6월에 가장 낮았고, 장마기 시작과 함께 농도가 증가한 후 다시 감소하여 장마기가 지난 8월에 가장 낮았다(Fig. 5B).

인산염의 농도는 0.2~1.0 μM 범위로, 5월 이후 전 정점에서 농도가 감소하였다가 장마기에 증가하기 시작하여 장마기가 지나면서 다시 감소하였다. 정점별로는 만의 바깥쪽 보다 안쪽에서 농도가 높았다(Fig. 5C).

규산염의 농도는 2.9~54.2 μM 범위로, 5월에 가장 낮았고, 이후 증가하여 장마기에 가장 높았으며, 장마가 지난 8월에 가장 낮았다. 공간적으로는 만의 안쪽에서 바깥쪽으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다(Fig. 5D).

Chlorophyll a 농도 변화

식물플랑크톤의 chlorophyll a 농도는 조사기간 동안 0.2~24.6 μg/l 범위로, 5월에서 7월까지 증가하다가 8월부터는 감소하는 양상을 보였다. 장마 전인 5월 24일(1차 조사)에는 평균 1.4 μg/l로 조사기간 중 가장 낮았다. 수심별 변화의 폭도 1 μg/l 내외로 크지 않았다. 6월 16일(2차 조사)에는 정점 3의 표층에서 6.1 μg/l로 높게 나타난 것을 제외하면 평균 2.3 μg/l로 5월에 비해 증가하기는 하

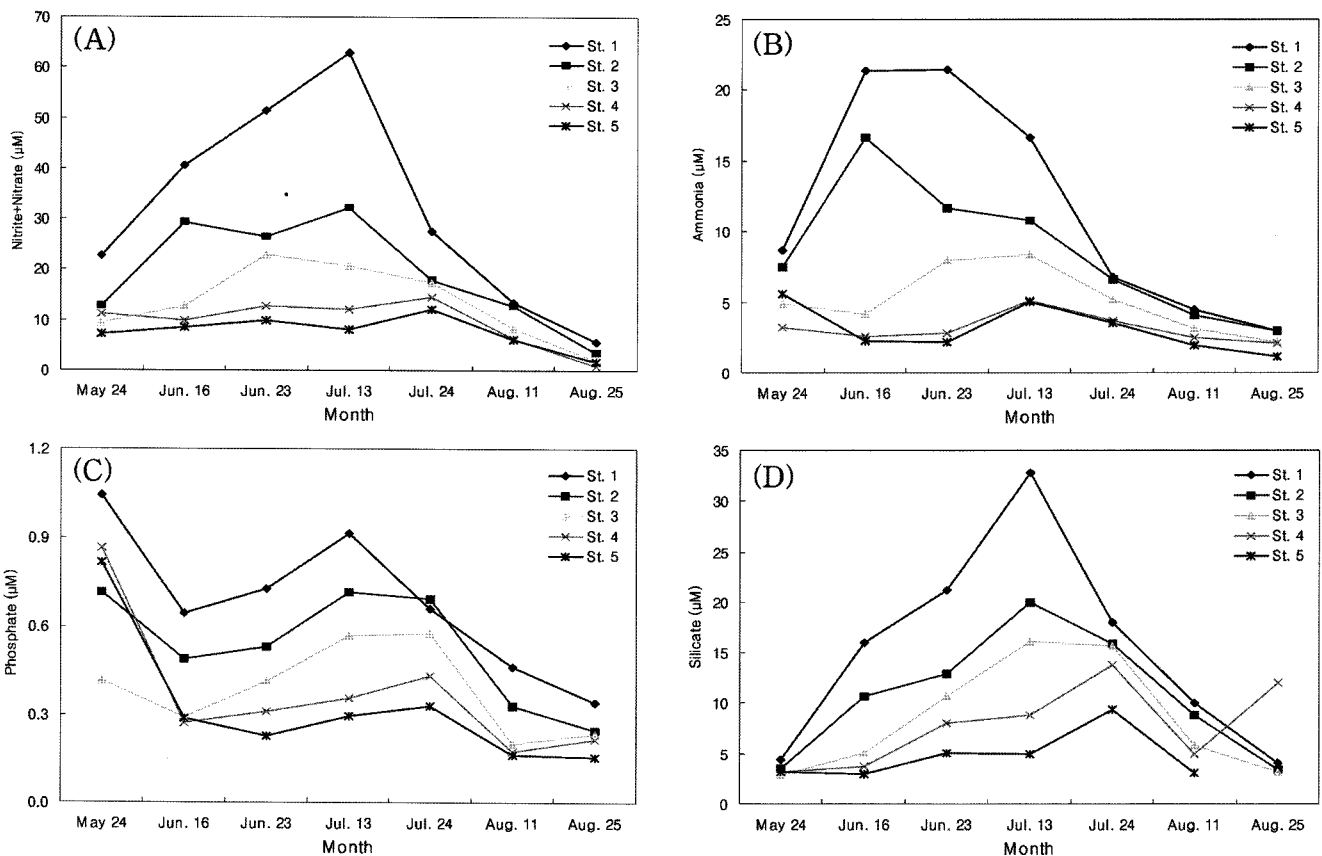


Fig. 5. Temporal variations in averaged nutrient concentrations in Asan Bay from May 24 to August 25, 2006(A: nitrate+nitrite, B: ammonia, C: phosphate, D: silicate).

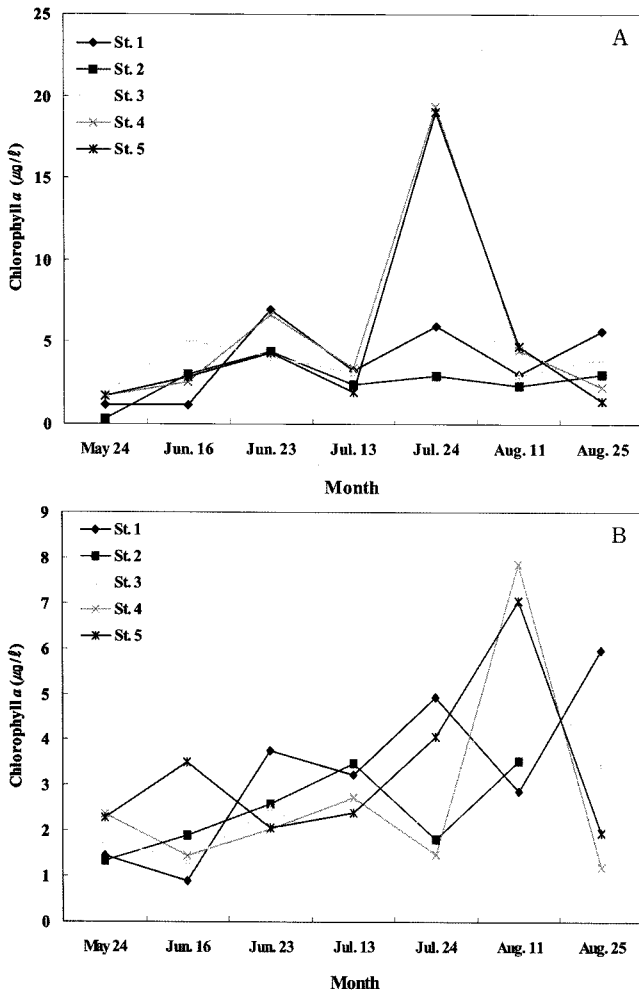


Fig. 6. Temporal variations in chlorophyll a concentrations in Asan Bay from May 24 to August 25, 2006 (A: surface, B: bottom).

였으나 여전히 낮았다. 6월 23일(3차 조사)에는 만의 안쪽 정점 1의 표층에서 9.2 µg/l로 가장 높았으며, 만의 바깥쪽인 정점 4의 표층에서도 6.7 µg/l로 높았다. 장마기인 7월 13일(4차 조사)에는 평균 2.6 µg/l로 chlorophyll a 농도가 다시 감소하였다. 7월 24일(5차 조사)에는 1.5~24.6 µg/l 범위, 평균 8.7 µg/l로 조사기간 중 가장 높은 농도를 나타냈으며, 공간적으로는 만의 안쪽인 정점 1에서는 7.6 µg/l, 만의 중심부인 정점 3의 표층에서는 10.8 µg/l, 만의 바깥쪽인 정점 4, 5에서는 24.1, 24.6 µg/l로 만의 안과 밖에서 모두 높은 농도를 보였다. 장마기가 지난 8월 11일과 25일(6, 7차 조사)에는 각각 평균 4.4, 3.1 µg/l로 장마기인 7월 보다는 감소하였지만 장마기 전인 5, 6월에 비해서는 높았다(Fig. 6).

동물플랑크톤 분포

연구해역에서 채집된 동물플랑크톤은 총 8개 문(Phylum)에 속하는 29개 분류군으로 구성되었다. 이 중 요각류는 10속 18개 분류군이였다. 전체 동물플랑크톤 총 개체수는 14~6485 indiv./m³였으며, 월별 평균 개체수는 장마기 전인 5월과 6월에 각각 1034, 2047 indiv./m³로 가장 많았고, 장마기인 7월에는 225 indiv./m³로 가장 적

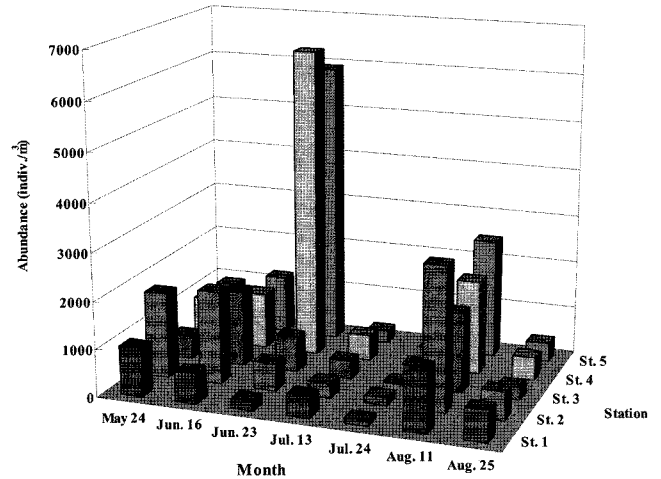


Fig. 7. Distribution of total zooplankton abundance in Asan Bay.

었다. 장마기 후인 8월에는 1274 indiv./m³였다(Fig. 7).

조사 기간 동안 아산만 해역에서 평균 개체수가 전체 개체수의 1% 이상을 점유하는 동물플랑크톤 중 요각류인 *Acartia hongii*, *Acartia pacifica*, *Calanus sinicus*, *Paracalanus parvus*, *Tortanus spinicaudatus*와 원생동물인 *Noctiluca scintillans*, 십각류 유생인 Decapoda nauplii, 그리고 모악동물인 *Sagitta crassa*를 포함한 8개 분류군의 개체수 합이 전체 동물플랑크톤 개체수의 87%를 차지하였고 시기에 따라 연체동물의 유생, 지각류(*Podon* spp., *Evdadne tergestina*), 극피동물 유생, 그리고 곤쟁이류(Mysidacea)등이 우점 분류군으로 나타났다(Table 1).

주요 우점 요각류인 *Acartia hongii*는 장마기 전인 5월 24일과 6월 16일(1, 2차 조사)에는 평균 개체수가 418 indiv./m³였으나 이후 감소하여 6월 23일(3차 조사)에는 171 indiv./m³, 장마기인 7월(4, 5차 조사)에는 29 indiv./m³로 감소하였다. 8월(6, 7차 조사)에는 21 indiv./m³로 장마기 이후 계속 감소하였다. 정점별 개체수 분포는 장마기 전에는 만의 안과 밖에서 대체로 고르게 분포 하였으나, 6월 23일(3차 조사)에는 만의 안쪽에 비하여 만의 바깥쪽(정점 4, 5)에서 많았고, 장마가 시작되면서 전체적으로 감소하였다(Fig. 8A).

요각류 *Acartia pacifica*는 5월에는 채집되지 않았다가 6월 이후 나타나기 시작하였다. 장마기인 7월부터 만의 안쪽에 분포의 중심을 두고 서서히 증가하여 평균 16 indiv./m³로 증가하였으며, 장마기가 지난 8월 11일(6차 조사)에는 만의 안쪽인 정점 2에서 최대 594 indiv./m³, 평균 245 indiv./m³로 가장 많은 개체수를 보였다. 8월 25일(7차 조사)에는 다시 감소하여 만의 안쪽 정점에서만 100 indiv./m³ 내외의 수준을 유지하였고 만의 바깥쪽으로 가면서 감소하여 정점 4, 5에서는 1 indiv./m³ 미만이었다(Fig. 8B).

요각류 *Calanus sinicus*는 5월부터 8월까지 전 정점에 출현하였으며 장마기 전에 평균 132 indiv./m³로 가장 많았다. 정점별로는 만의 안쪽(평균 44 indiv./m³)에서 만의 바깥쪽으로 갈수록 많아졌다(평균 237 indiv./m³). 6월 이후 개체수가 계속 감소하여 장마기에는 평균 7 indiv./m³였으며 장마기 후에도 평균 12 indiv./m³로 적었다(Fig. 8C).

요각류 *Paracalanus parvus*는 장마기 전인 5월에는 평균 1 indiv./m³

Table 1. Abundances (indiv./m³) and averaged percent composition of major zooplankton in Asan Bay.

Taxon	Averaged abundance							Composition (%)
	May 24	Jun. 16	Jun. 23	Jul. 13	Jul. 24	Aug. 11	Aug. 25	
<i>Noctiluca scintillans</i>	324.6	191.0	2277.5				23.7	34.7
Hydromedusa	27.2					23.6	7.3	0.7
Bivalve larva					0.7		14.9	0.2
Gastropoda larva	49.6	15.8		10.4			5.9	1.0
Polychaeta larva						24.8		0.3
Cirripedia larva		44.8				90.2	12.2	1.8
<i>Podon</i> spp.				24.8				0.3
<i>Evadne tergestina</i> .						184.6		2.3
<i>Acartia hongii</i>	427.6	409.0	171.3	53.0	5.7	38.2		13.6
<i>Acartia pacifica</i>				20.2	10.8	245.2	31.2	3.8
<i>Calanus sinicus</i>	112.5	211.4	71.9	12.7	1.2	23.1		5.3
<i>Paracalanus parvus</i>		51.5	31.0	26.9	0.8	915.7	32.6	13.0
<i>Labidocera bipinnata</i>						28.1	36.9	0.8
<i>Pseudodiaptomas marinus</i>				4.4				0.1
<i>Tortanus spinicaudatus</i>						33.5	66.6	1.2
<i>Corycaeus affinis</i>						24.9		0.3
Mysidacea larva				32.6				0.4
Decapoda nauplii	32.3	259.7	132.6	161.6	33.4	190.2	104.3	11.3
<i>Sagitta crassa</i>	29.5	39.9	29.1	17.6	6.9	124.6	80.6	4.0
Echinodermata larva						74.4	21.3	1.2
<i>Oikopleura</i> spp.							5.8	0.1
Fish larva & eggs		46.8			1.6			0.6
Unidentified eggs					2.7			0.0
Sum of above listed taxa	1003.1	1269.9	2713.4	364.1	63.8	2021.2	443.2	97.0
Others	30.5	40.5	69.5	19.2	3.1	54.3	28.8	3.0
Total	1033.6	1310.3	2782.9	383.3	66.9	2075.6	472.0	100.0

로 적었으나 6월에는 평균 41 indiv./m³로 많아졌다. 장마기인 7월에는 개체수가 감소하여 평균 14 indiv./m³였다. 장마기 후인 8월 11일(6차 조사)에는 개체수가 급격히 증가하여 평균 916 indiv./m³였으나, 8월 25일(7차 조사)에는 평균 33 indiv./m³로 다시 감소하였다. 공간적 분포는 만의 중앙(정점 2, 3)에서 바깥쪽으로 퍼져 있었다(Fig. 8D).

육식성 요각류 *Tortanus spinicaudatus*는 장마기 전과 장마기에는 1~2 indiv./m³로 적었으나 장마기 후에는 만의 안쪽인 정점 1을 중심으로 각각 112, 206 indiv./m³로 증가하였다(평균 34, 67 indiv./m³). 분포의 중심은 만의 안쪽에 있었으며 만의 바깥쪽으로 가면서 개체수는 감소하였다(Fig. 8E).

원생동물인 *Noctiluca scintillans*는 장마기 전에는 평균 931 indiv./m³였으며, 6월 23일(3차 조사)에는 만의 바깥쪽 정점인 4와 5에서 각각 6009, 5049 indiv./m³로 대량 발생하였다. 장마기에는 전 정점에서 전혀 출현하지 않다가 장마기가 지난 8월 25일(7차 조사)에는 만의 바깥쪽에서만 소량(약 24 indiv./m³) 출현하였다. 대량 증가한 6월과 미약하지만 출현량을 보인 8월에 분포중심은 만의 바깥쪽이었다(Fig. 8F).

십각류 유생(Decapoda nauplii)은 평균 131 indiv./m³로 만의 중앙부인 정점 2와 3을 중심으로 고르게 분포하였다. 장마기 전인 5월과 장마기인 7월 24일(5차 조사)에 각각 평균 32, 33 indiv./m³로

가장 적었으며, 장마기에 개체수가 감소하기는 하였지만 큰 영향은 받지 않았다(Fig. 8G).

모악동물인 *Sagitta crassa*는 장마기 전에는 평균 33 indiv./m³였고, 장마기에는 평균 12 indiv./m³로 가장 적었다. 장마기 후에는 평균 103 indiv./m³로 증가하였다. 공간적으로는 만의 안과 밖에 고르게 분포하였다(Fig. 8H).

토 의

영양염과 식물플랑크톤의 관계

연구기간 동안 아산만 해역의 영양염 농도는 장마가 시작되면서 담수 유입량의 증가로 높아지기 시작하여 7월 13일 관측에서 가장 높은 값을 보였다. Chlorophyll *a* 농도는 약 10일이 지난 7월 24일에 가장 높았다. 하구역에 유입되는 많은 양의 담수는 식물플랑크톤의 성장 및 사멸에 영향을 줄 수 있는 광조건, 영양염, 염분 등의 여러 가지 환경 인자들을 일시적으로 변화시킨다(Cloern *et al.*, 1983; Malone *et al.*, 1988; Boyer *et al.*, 1993). 신 등(2005)은 방조제 수문 개방시 일시적으로 많은 양의 담수가 유입되면 만내에 염분은 낮아지고 영양염 농도는 증가하게 된다고 하였다. 영양염 농도가 장마기에 가장 높게 나타난 것은 장마 때 방조제에서 다량의 담수가 유입되었기 때문이며, 그 이후에 chlorophyll *a* 농도가

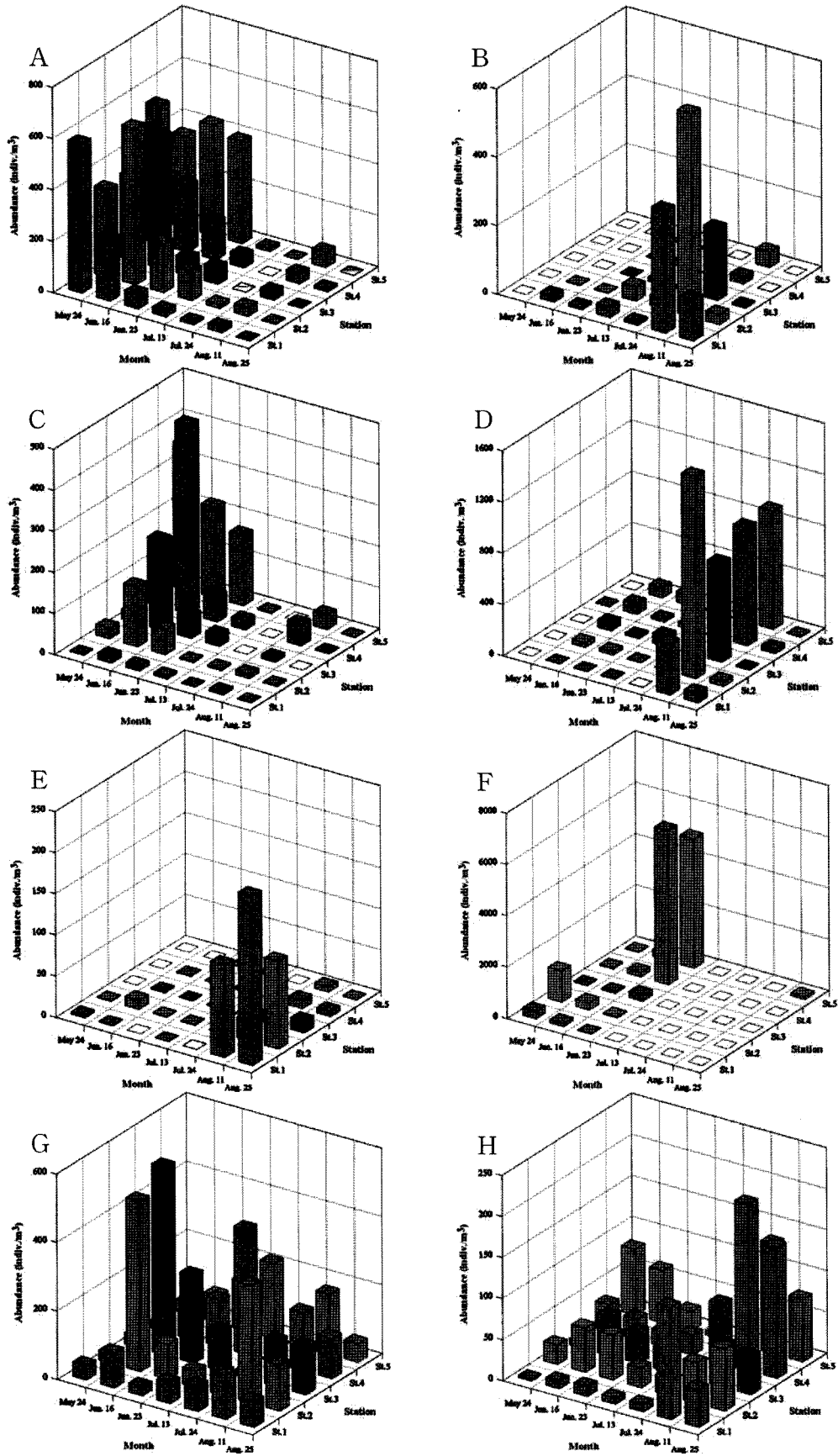


Fig. 8. Distribution of major zooplankton abundance in Asan Bay (A: *Acartia hongii*, B: *Acartia pacifica*, C: *Calanus sinicus*, D: *Paracalanus parvus*, E: *Tortanus spinicaudatus*, F: *Noctiluca scintillans*, G: Decapoda nauplii, H: *Sagitta crassa*).

증가하는 것은 담수로부터 유입된 영양염을 이용한 결과로 해석된다. 영양염과 chlorophyll *a* 농도 사이의 상관관계를 조사 시기별로 직접 비교를 하였을 때에는 통계적으로 유의하지 않았다. 그러나, 만 전체를 통합하여 살펴본 바 영양염 농도가 먼저 증가하고 약 10일 후에 chlorophyll *a* 농도의 증가가 나타났다는 점에서, 영양염 자료와 10일 후에 관측채집된 chlorophyll *a* 농도 사이의 상관관계를 보았을 때에는 오히려 유의한 음의 상관관계(평균 $r = -0.33$)를 보였다. 이 결과는 아산만 해역에서 영양염 증가가 chlorophyll *a* 농도의 증가를 초래하지만, 영양염 소모 속도가 10일보다는 더 짧은 시간 간격에서 진행되는 것으로 유추하게 한다.

과거 연구된 바로는 아산만 해역에서 통상 봄철에 식물플랑크톤 대증식이 발생하는 것으로 알려져 있었다. 아산만 해역에서 이 등(2005)과 현 등(2006)은 월간(monthly) 채집을 통해 식물플랑크톤의 대증식이 겨울철인 2월에 만의 안쪽에서 시작하여 5월에는 만의 바깥쪽으로 이동 발생한다고 하였다. 박 등(미발표자료)의 봄철 대증식기에 집중적인 조사(약 10~15일)에서도 2월과 5월에 대증식이 발생했으며, 5월 이후 chlorophyll *a* 농도가 감소하였다. 그러나, 본 연구를 통해 장마기에도 다량의 영양염 공급으로 봄철 대증식기와 같은 증식이 있음을 알 수가 있었다.

수온, 염분과 동물플랑크톤 분포의 상관성과 특징

전체 조사 기간 동안 아산만 해역에서 상대적으로 높은 조성을 보인 9개 분류군의 분포량 쌍(pair)들을 대상으로 이들 간의 상관관계를 파악하였다. 이 상관계수(r_{ij})의 matrix를 변형하여 $1-r_{ij}$ 를 중간 거리로 간주하여 집괴 분석을 통하여 중간 유연관계를 파악하였고, 이들 그룹의 중별 분포를 수온 및 염분과의 상관관계를 통하여 분포의 특성을 파악하였다. 집괴 분석 결과는 집괴간 거리 1.25를 기준으로 크게 2개의 그룹으로 구분할 수 있었다(Fig. 9).

대그룹으로 묶인 분류군들의 특성은 봄철에 우점하는 분류군들과 여름철에 우점하는 분류군들로 구분된다. *Calanus sinicus*, *Acartia hongii*, *Decapoda* nauplii, *Noctiluca scintillans*가 속한 A그룹은 비교적 수온이 낮은(20°C 이하) 5, 6월에 우점하였으며, *Corycaeus affinis*, *Paracalanus parvus*, *Acartia pacifica*, *Sagitta crassa*, *Tortanus spinicaudatus*가 속한 B그룹은 장마기 이후 수온이 높아졌던(20°C 이상) 8월에 우점하였다. 계절 변동에 의한 수온의 변화와 장마로 인한 염분 감소의 영향은 시기적으로 중복되어 발생하기 때문에 주요인이 수온인지 염분인지를 구분하는 것은 쉽지 않다. 만일 동물플랑크톤 개체수가 두 변량인 수온, 염분에 대하여 선택적인 상관성을 보인다면 어느 요인이 더 많은 영향을 주었는지 판단이 용이

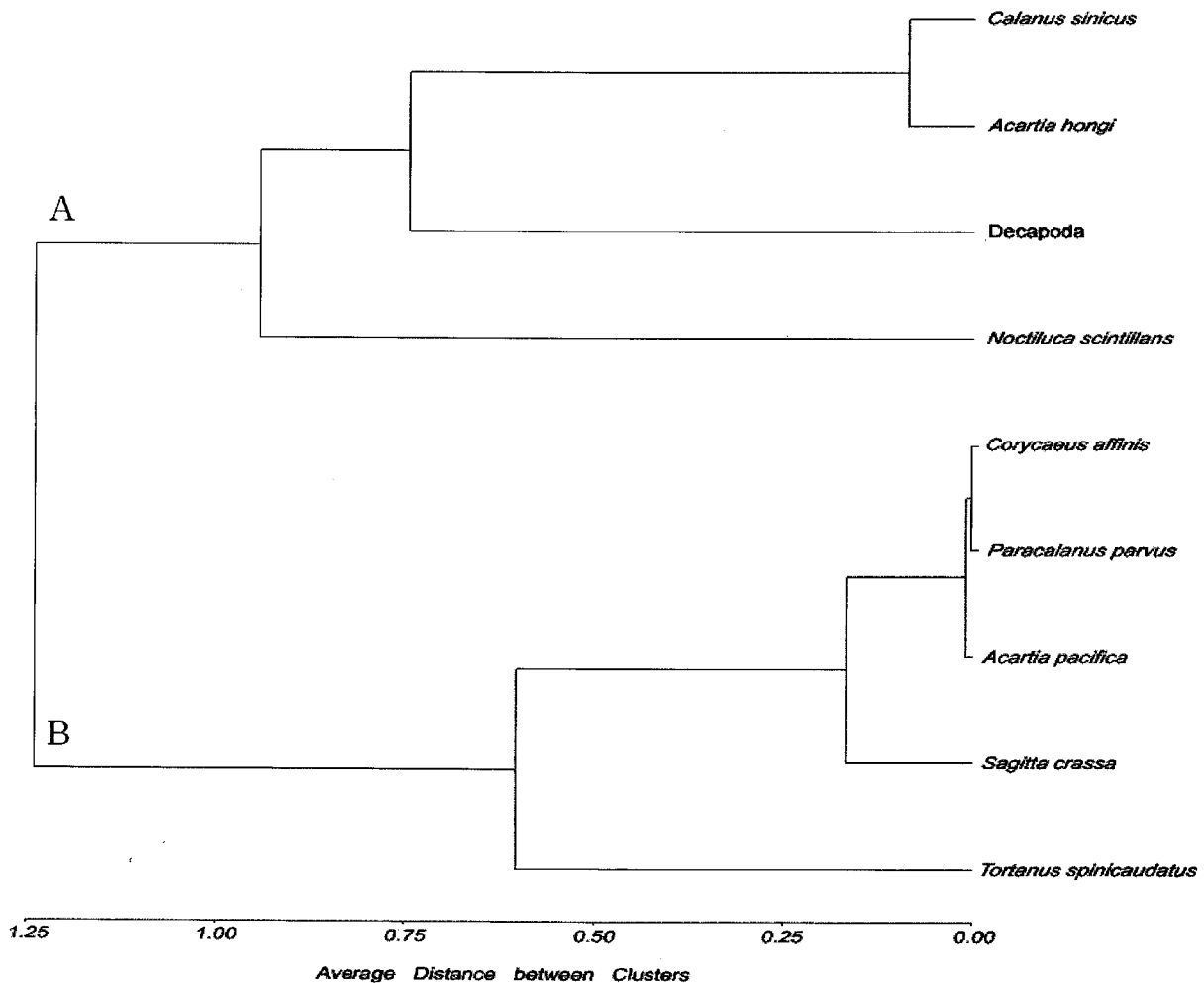


Fig. 9. Dendrogram showing the degree of co-occurrence among the nine taxa of zooplankton obtained by the cluster analysis with correlation coefficients of abundance data in Asan Bay from May 24 to August 25, 2006.

할 것이다. 이에 수온 및 염분에 대해 각각의 상관관계를 통해 어느 요인이 더 많은 영향을 주었는지 유추해 보았다.

A 그룹의 *C. sinicus*는 전 기간 동안 수온과는 유의적인 음의 상관관계를 보였고, 염분과는 양의 상관관계를 보였다(Table 2, 3). 즉, 이 종은 수온과 염분에 대해 선택적인 상관성을 보이지는 않았다. 아산만 해역에서 *C. sinicus*는 봄철에 다량 출현하고 다른 계절에는 출현량이 적은 것으로 알려져 있다(Choi and Park, 1993; Park et al., 1998; Lee and Park, 2002). 수온 및 염분에 대한 내성 범위는 4~29°C, 8~32 psu로 비교적 넓지만(최 등, 1998; 서와 서, 1993), 수온이 27°C 이상으로 증가하면 출현량이 감소하는 것으로 알려져 있다(Anon, 1977; Huang and Chen, 1985; Huang et al., 1991; Huang et al., 1997; Lin and Chen, 1997; Lin et al., 1997). Wang et al.(2003)의 연구에 의하면 *C. sinicus*가 여름철에는 황해저층 냉수로 이동한다고 하였는데, 본 연구에서 *C. sinicus*가 6월 이후 급격히 개체수가 감소하는 것은 여름철로 접어들면서 증가한 수온이 *C. sinicus*의 서식 환경을 변화시켜 황해저층 냉수로 이동하여 여름을 보내는 것으로 판단된다.

*C. sinicus*와 같은 그룹에 속한 *A. hongii*는 전 기간 동안 수온과는 강한 음의 상관관계를 보였지만, 염분과의 상관관계는 유의적이지 않았다(Table 2, 3). 이는 염분보다는 수온의 변화가 *A. hongii*의 개체수 변동에 더 많은 영향을 주는 것으로 유추하게 한다. 서와

서(1993), 윤과 최(2003)는 *A. hongii*가 수온이 증가함에 따라 출현량이 크게 감소한다고 하였고, Soh and Jeong(2003)은 *A. hongii*가 수온 10°C 이하, 염분 33 psu 이하에서 우점한다고 하였다. 아산만 해역에서 *A. hongii*가 6월 이후 개체수가 크게 감소한 것은 *C. sinicus*와 마찬가지로 증가한 수온 때문인 것으로 판단된다.

A 그룹의 나머지 두 분류군인 Decapoda nauplii와 *N. scintillans*는 수온과 유의적인 상관관계를 보이지 않았다(Table 2). 그러나, *N. scintillans*는 염분과 약하지만 유의적인 양의 상관관계를 보였다(Table 3). 본 연구에서 *N. scintillans*는 장마기 전인 6월에 만의 바깥쪽에서만 다량 발생하였고 장마기에는 출현하지 않다가 장마기가 지난 후에 다시 나타나기 시작하였다. 이것은 장마로 인한 낮은 염분이 삼투조절과 관련하여 종의 소멸을 야기한 것으로 볼 수 있다. *N. scintillans*는 연안역에서 봄과 여름에 대량 증식하는 종이며(황과 최, 1993), 지역에 따라 적절한 수온과 염분 범위가 정해져 있는 것으로 알려져 있다(Morton and Twentman, 1971; Kuroda, 1978; Huang and Qi, 1997; Tada et al., 2004). Miyaguchi et al.(2006)은 *N. scintillans*의 서식 환경으로 수온 15.2~17.8°C 범위, 염분 34.9~35.3 psu 범위를 최적의 환경 조건이라고 하였으며 많은 강수량으로 인한 염분의 감소는 *N. scintillans*의 대량 증식을 제한하는 요인으로 작용한다고 하였다. 이러한 결과는 Huang and Qi(1997)의 27 psu 이하로 염분이 감소하였을 때에는 개체수가 급

Table 2. Correlation coefficients (r) between zooplankton abundance and temperatures in Asan Bay from May 24 to August 25, 2006.

Cluster analysis group	Species	Correlation coefficients (r)			
		all data pooled	Before rainy season	Rainy season	After rainy season
A group	Total zooplankton				-0.78*
	<i>Calanus sinicus</i>	-0.51*			-0.62**
	<i>Acartia hongii</i>	-0.72*	-0.41**		-0.81*
	Decapoda nauplii		0.43**		
B group	<i>Noctiluca scintillans</i>				
	<i>Corycaeus affinis</i>	0.34*			-0.71*
	<i>Paracalanus parvus</i>	0.34*			-0.78*
	<i>Acartia pacifica</i>	0.36*	0.60*	0.60**	
	<i>Sagitta crassa</i>	0.44*			
	<i>Tortanus spinicaudatus</i>	0.50*			0.57**

Asterisks indicate the level of significance at * $p < 0.05$ and ** $p < 0.1$. Blanks indicate no significant correlations.

Table 3. Correlation coefficients (r) between zooplankton abundance and salinities in Asan Bay from May 24 to August 25, 2006.

Cluster analysis group	Species	Correlation coefficients (r)			
		all data pooled	Before rainy season	Rainy season	After rainy season
A group	Total zooplankton	0.31**			
	<i>Calanus sinicus</i>	0.4*	0.51*		
	<i>Acartia hongii</i>				
	Decapoda nauplii				
B group	<i>Noctiluca scintillans</i>	0.25**			0.61**
	<i>Corycaeus affinis</i>			-0.55**	
	<i>Paracalanus parvus</i>		0.40**		
	<i>Acartia pacifica</i>		-0.94*	-0.54**	-0.77*
	<i>Sagitta crassa</i>	0.25**	0.39**		
	<i>Tortanus spinicaudatus</i>				-0.51**

Asterisks indicate the level of significance at * $p < 0.05$ and ** $p < 0.1$. Blanks indicate no significant correlations.

격히 감소한다는 보고와도 일치한다.

B 그룹의 5개 분류군은 모두 수온과 유의적인 양의 상관관계를 보였다(Table 2). 이 종들은 아산만 해역에 연중 출현하지만 여름철에 우점하는 종으로 알려져 있는데(Park *et al.*, 1991; Choi and park, 1993) 본 연구에서도 장마기 이후에 개체수가 크게 증가하였다. B 그룹에 속한 *C. affinis*와 *P. parvus*는 전 조사 기간 동안 수온과 양의 상관관계($r=0.34$, $p<0.1$; $r=0.34$, $p<0.05$)를 보였지만, 개체수가 가장 많았던 장마기 후에는 수온과 강한 음의 상관관계를 보였다($r=-0.71$, -0.78 , $p<0.05$). 아산만에서 이 등(2006)은 *P. parvus*가 연중 6월과 12월에 두 번의 peak를 보인다고 하였고, 명 등(1994)은 10월에 가장 개체수가 높다고 하였다. 경기만에서 윤과 최(2003)는 6-8월, 10월에 2번의 개체수 증가가 있다고 보고하여 *P. parvus*는 서식 해역에 따라 출현하는 양상도 다르고 같은 지역이라 할지라도 연중 같은 출현 양상을 나타내지는 않는 것으로 판단된다. 즉, 이들 종은 수온이 증가함에 따라 개체수가 증가하지만 지나친 수온의 상승은 이들 종의 수온에 대한 적응 범위 한계를 넘어서기 때문에 오히려 역효과로 작용하여 개체수 증가에 영향 주는 것으로 유추된다.

B 그룹의 *A. pacifica*와 육식성 요각류인 *T. spinicaudatus*도 수온과 유의적인 양의 상관관계를 보였지만, 염분과는 음의 상관관계를 보였다(Table 2, 3). *A. pacifica*는 고수온기에 개체수가 증가하며, 출현하는 수온 및 염분의 범위는 20-27°C, 29-31 psu로 알려져 있다(최 등, 1998). 장마기 전과 장마기에는 개체수가 적었고(1-2 indiv./m³), 장마기 이후 개체수가 증가하였지만 염분과 강한 음의 상관관계를 보인다는 것은 *A. pacifica*가 상대적으로 염분에 대한 내성 범위가 작은 것으로 판단되며 그 적정 범위는 27-30 psu인 것으로 여겨진다. 서 등(1991)은 *A. pacifica*가 염분 25.4-29.4 psu 범위에 출현하며, 27.2 psu에 분포의 중심이 있다고 하였고, 최 등(1998)은 *A. pacifica*가 염분 29-31 psu 범위에 출현하며 29.9 psu에서 가장 많은 개체수 분포를 보인다고 보고한 바 있어 위와 같은 유추를 잘 뒷받침해준다.

장마기 전에도 일정한 출현을 보인 *S. crassa*의 경우 수온 및 염분과 양의 상관관계를 보이며(Table 2, 3) 개체수는 장마기에 가장 적었고 장마기가 지난 후에 개체수가 급격히 증가 하는 것으로 보아 수온과 염분 둘 다 분포에 영향을 주는 것으로 판단된다.

장마기를 전후하여 수온 및 염분의 변화는 동물플랑크톤 분포에 영향을 주었지만 그 영향은 종에 따라 다소 차이가 있고 전체적으로는 다음과 같은 특징이 있다. 수온의 증가는 우점 분류군의 계절적인 천이를 발생시켰다. 그러나 수온의 변화는 계절의 변동에 의한 비교적 느린 변화지만 장마기에 염분은 상대적으로 급격히 변하며 일시적으로 약 10 psu 이상 변화한다. 일시적인 염분의 변화는 이동성이 적은 동물플랑크톤에게는 충격(stress)로 작용하여 종의 대량 소멸을 일으킨다. 그러므로 수온이 개별 종의 분포에 영향을 주어 천이의 원인이 되었다면 전체 동물플랑크톤 개체수 감소에는 염분이 상대적으로 더 큰 영향을 미친 것으로 보인다(Table 3; $r=0.31$, $p<0.1$). 염분의 영향은 *Noctiluca scintillans*, *Acartia pacifica*, *Sagitta crassa* 등에서 두드러졌다.

식물플랑크톤과 동물플랑크톤의 관계

조사 기간 동안 전체 동물플랑크톤 개체수와 식물플랑크톤 chlorophyll *a* 농도의 상관관계는 장마기에 강한 음의 상관관계를 보였다($r=-0.71$, $p<0.05$). 주요 우점종과 chlorophyll *a* 농도의 상관관계도 장마기에 출현이 없었던 *N. scintillans*와 적은 개체수를 보인 *P. parvus*를 제외하고는 장마기 동안 모두 음의 상관관계를 나타냈다(Table 4). 이는 장마기에 식물플랑크톤 양이 증가 함에도 불구하고 동물플랑크톤 개체수는 반대로 감소한다는 것인데 이는 앞서 논의된 바와 같이 염분이 동물플랑크톤 분포에 먼저 영향을 주었고, 감소한 동물플랑크톤 개체수는 식물플랑크톤에게 낮아진 포식압으로 작용하였으며, 담수 유입으로 증가한 영양염은 식물플랑크톤의 증식을 향상시켜 chlorophyll *a* 농도가 높아진 것으로 여겨진다.

동물플랑크톤과 식물플랑크톤의 상관관계를 통해 먹고 먹히는 관계를 유추하는 것은 쉽지 않다. 먹이가 많아지면 포식자는 모이게 되고 따라서 양의 상관관계를 보이지만, 이 먹이를 소모하고 나면 오히려 음의 상관관계가 나타날 수 있기 때문이다. 본 연구에서처럼 동물플랑크톤과 식물플랑크톤 양과의 관계가 음의 상관관계라는 것은 먹이의 양이 많아졌음에도 불구하고 동물플랑크톤 개체수가 감소했기 때문인데, 이것은 이들 상호간의 직접적인 섭식관계로 인한 영향이라기보다는 낮아진 염분으로 인한 동물플랑크톤 개체수의 감소가 식물플랑크톤에게는 낮아진 포식압으로 작용했기 때문으로 여겨진다.

Table 4. Correlation coefficients (r) between zooplankton abundance and chlorophyll *a* concentrations in Asan Bay from May 24 to August 25, 2006.

Cluster analysis group	Species	Correlation coefficients (r)			
		all data pooled	Before rainy season	Rainy season	After rainy season
A group	Total zooplankton			-0.71*	
	<i>Calanus sinicus</i>	-0.25**		-0.49**	0.61**
	<i>Acartia hongii</i>	-0.42*	-0.54*	-0.54**	0.47**
	Decapoda nauplii			-0.51**	
	<i>Noctiluca scintillans</i>				-0.49**
B group	<i>Corycaeus affinis</i>			-0.52**	0.59**
	<i>Paracalanus parvus</i>				
	<i>Acartia pacifica</i>			-0.57**	
	<i>Sagitta crassa</i>			-0.68*	
	<i>Tortanus spinicaudatus</i>			-0.64*	

Asterisks indicate the level of significance at * $p<0.05$ and ** $p<0.1$. Blanks indicate no significant correlations.

사 사

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 R01-2003-000-10080-0) 지원과 충남대학교 자체 연구비(2006년도)의 지원으로 수행되었습니다. 현장 조사와 실험에 도움을 준 광주대학교 환경연구센터와 충남대학교 부유생물학 실험실원들께 감사드립니다. 또한, 논문 심사과정에서 개선에 큰 도움을 주신 두 분의 심사위원께 감사드립니다.

참고문헌

명철수, 유재명, 김용서, 1994. 아산만 해역의 동물플랑크톤 분포. 한국해양학회지, **29**: 366-375.

문창호, 박 철, 이승용, 1993. 아산만의 영양염 및 입자성 유기물. 한국 수산학회지, **26**: 173-181.

박 철, 이평강, 1995. 아산만 요각류 *Calanus sinicus*의 알생산. 한국수산학회지, **28**: 105-113.

서해립, 서호영, 차성식, 1991. 만경 동진강 하구계의 동물플랑크톤의 분포와 염분. 한국해양학회지, **26**: 181-192.

서호영, 서해립, 1993. 광양만의 부유성 요각류 출현량의 계절변동. 한국환경생물학회지, **20**: 118-129.

신용식, 서호영, 현봉길, 2005. 해수층의 염분 변화가 일차 생산자와 상위소비자의 크기구조에 미치는 영향. 한국해양학회지, **10**: 113-123.

윤석현, 최중기, 2003. 경기만 동물플랑크톤 군집의 시공간적 분포. 한국해양학회지, **8**: 243-250.

이상현, 신용식, 양성렬, 박 철, 2005. 아산만 식물플랑크톤의 계절적 군집 분포 특성. *Ocean and Polar Res.*, **27**: 149-159.

이창래, 박 철, 양성렬, 신용식, 2006. 아산만 해역 중형동물플랑크톤의 시공간적 변동. 한국해양학회지, **11**: 1-10.

최상덕, 김영식, 한경호, 1998. 광양만의 동물성 플랑크톤 군집구조 특성에 관한 연구. 여주대학교 논문집 제13편 2권, 959-971.

현봉길, 신용식, 박 철, 양성렬, 이영준, 2006. 아산만 식물플랑크톤 크기구조의 시공간적 변동. 한국환경생물학회지, **24**: 7-18.

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

Anon, 1977. Study on plankton in China Seas. In Anon (ed.), *Scientific Reports of Comprehensive Oceanography Expedition in China Sea*, Ocean Res. Off. Press Tianjun, **8**: 1-159pp (in Chinese).

Boyer, J.P., R.R. Christian and D.W. Stanley. 1993. Patterns phytoplankton primary productivity in the Neuse River estuary, North Carolina, USA. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **97**: 287-297.

Choi, K.H. and C. Park, 1993. Seasonal fluctuation of zooplankton community in Asan Bay, Korea., *J. Kor. Fish. Soc.*, **26**: 424-437.

Cloern J.E., A.E. Alpine, B.E. Cole, R.L.J. Wong, J.F. Arthur and M.D. Ball. 1983. River discharge controls phytoplankton dynamics in the northern San Francisco Bay estuary. *Estur. Coast. Shelf Sci.* **16**: 415-429.

Gunter, G., 1961. Some relations of estuarine organisms to salinity. *Limnol. Oceanogr.*, **25**: 211-241.

Huang, C. and Y. Qi, 1997. The abundance cycle and influence factors on red tide phenomena of *Noctiluca scintillans* (Dinophyceae) in Dapeng Bay, the South China Sea. *J. Plankton Res.*, **19**: 303-318.

Huang, J. and B. Chen, 1985. Species composition and distribution of planktonic copepods in the Jiulongjiang estuarine. *Taiwan Strait*, **4**: 79-88 (in Chinese with English abstract).

Huang, J., Sh. Li. and Y. Chen, 1991. Distribution of pelagic copepods in Luoyuan Bay, Fujian. *J. Oceanogr.*, **10**: 46-51 (in Chinese).

Huang, J., Y. Hong, Ch. Zhu, and X. Chen, 1997. Distribution of zooplankton in Nanri Islands sea area of Fujian Province. *Donghai Mar. Sci.*, **15**: 46-53 (in Chinese with English abstract).

Jones, K.K., C. Simenstad, D.L. Higley and D.L. Bottom, 1990. Community structure, distribution and standing stock of benthos, epibenthos, and plankton in the Columbia River Estuary. *Prog. Oceanogr.*, **25**: 211-241.

Kuroda, K., 1978. The distribution and ecology of *Noctiluca scintillans*. Osaka Bay. *Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr.*, **32**: 56-67 (in Japanese).

Lee, C.R. and C. Park, 2002. Long-term variation of zooplankton composition and abundance in Asan Bay, Korea: in it influence of dyke construction?. *The Yellow Sea*, **8**: 9-18.

Lin, S. and R. Chen, 1997. Distribution of planktonic copepods in Dongshan Bay, Fujian province. *Mar. Sci. Bull.*, **11**: 41-46 (in Chinese with English abstract).

Lin, J., X. Wang and R. Chen, 1997. Distribution of planktonic copepods in Sansha Bay, Fujian. *Mar. Sci. Bull.*, **16**: 13-19 (in Chinese with English abstract).

Malone, T.C., L.H. Crocker, S.E. Pike and B.W. Wendler. 1988. Influences of river flow on the dynamics of phytoplankton production in a partially stratified estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **48**: 235-249.

Miyaguchi, H., T. Fujiki, T. Kikuguchi, V.S. Kuwahara and T. Toda, 2006. Relationship between the bloom of *Noctiluca scintillans* and environmental factors in the coastal waters of Sagami Bay, Japan. *J. Plankton Res.*, **28**: 313-324.

Morton, B. and R.P. Twentyman, 1971. The occurrence and toxicity of a red tide caused by *Noctiluca scintillans* (Macartney) Ehrenb., in the coastal waters of Hong Kong. *Environ. Res.*, **4**: 544-557.

Park C., 1997. Seasonal distribution, eggs production and feeding by Marine copepod *Calanus sinicus* in Asan Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea.*, **32**: 85-92.

Park C., K. H. Choi and C. H. Moon, 1991. Distribution of zooplankton in Asan Bay, Korea with Comments on vertical migration. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **24**: 472-482.

Park C., P. G. Lee and C. R. Lee, 1998. Seasonal variation on 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.

Parsons, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli, 1984. A manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford, 173pp.

Soh, H. Y. and H. G. Jeong, 2003. Spatio-temporal distribution of genus *Acartia* (Copepoda: Calanoid) in the southwestern waters of Korea. *Korean J. Environ. Biol.* **21**: 422-427.

- Tada, K., S. Pithakpol and S. Montani, 2004. Seasonal variation in the abundance of *Noctiluca scintillans* in the Seto Inland Sea, Japan. *Plank. Biol. Ecol.*, **51**: 7-14.
- Wang, R., T. Zuo and K. Wang, 2003. The Yellow Sea Cold Bottom Water-an overwintering site for *Calanus sinicus* (Copepoda, Crus-

tacea). *J. Plankton Res.*, **25**: 169-183.

2007년 8월 6일 원고접수

2007년 11월 12일 수정본 채택

담당편집위원: 김웅서