

광양만 주변 해역의 동물플랑크톤 분포: 수괴지표종을 중심으로

윤 상 진¹⁾, 노 일²⁾

Distribution of Zooplankton in the Vicinity of Kwangyang Bay,
Korea: Stressed on the indicator species of water quality

Seong-Jin Yoon, Il-Noh

Abstract

This study was performed in order to clarify species composition, biomass and distribution pattern of zooplankton community(stressed on the indicator species), and to investigate the relationship between zooplankters and environmental factors of the study area. Sampling and observation of seawater for analysis of physico-chemical parameters and of zooplankton were made at 11 stations in the vicinity of Kwangyang Bay from January to May and from July to December of 1997.

Both the zooplankton abundance(ind./m³) and wet weight(mg/m³) showed maximum in May and minimum in September of 1997. Variation in abundance of zooplankton was mainly dependent on the occurrence of *Noctiluca scintillans* in the study area.

Four marine cladocerans which are through to occur in warm water body, were represented as a dominant component of zooplankton community in July, 1997. On the monthly distribution of chaetognaths, *Sagitta enflata* was the

1) 한국해양대학교 해양공학과 석사과정 해양환경 전공

2) 한국해양대학교 해양환경공학과 교수

most dominant at the outer bay in the study area in September and this species has been thought to be a firm indicator species for warm water body.

The two species of *N. scintillans* and *A. omorii*, which are thought to be indicator species for marine pollution occurred predominantly in the study area throughout the year. This means that the water quality of the study area might be deteriorated, even though we didn't yet analyze or quantify any pollutants in the study area. Organic Pollution Index(OPI) and Trophic State Index(TSI) both showed high values at the most stations of the study area, this also says that the water quality of the study area has been deteriorated.

I. 서론

동물플랑크톤은 식물플랑크톤에 의해 합성된 유기에너지를 어류와 같은 더 높은 영양단계로 전달하는 일차 소비자의 역할을 담당하며, 동물플랑크톤의 분포는 다양한 해양 생태 환경에 영향을 받는다. 동물플랑크톤의 분포는 피식과 중간경쟁 같은 생물적학인 요인(Parsons et al., 1984) 뿐만 아니라, 수온, 염분 같은 물리화학적 특성에 의해서도 영향을 받는다(Barlow, 1955; Lance, 1963; Poulet and Williams, 1991). 한편, 연안해역은 외해에 비해 환경변화가 심하며 특히, 만은 수리역학적인 특성이 다양하므로 만 내 동물플랑크톤의 종조성 및 분포 양상도 이러한 물리화학적 환경요인에 의해 변화한다(Lee, 1989).

해양생태계 내의 에너지 흐름을 파악하기 위하여, 영양단계별 생물량을 측정하고 생태효율(ecological efficient)을 계산하여 생물 생산량을 추정하는 방법이 많이 이용되어 왔다. 동물플랑크톤의 생산량 측정방법에는 여러 가지가 있으나 통일된 방법이 아직까지 확립되어 있지 않다(Raymont, 1983; Omorii and Ikeda, 1984). 그러므로 ^{14}C 법에 의한 생산량 측정법이 확립되어 있는 식물플랑크톤의 경우와는 달리, 동물플랑크톤의 생산량 측정은 극히 제한적으로 이루어질 수 밖에 없었다. 또한, 동물플랑크톤은 세대기간이 길고 분류군이 다양하므로 전체 동물플랑크톤의 생산량을 측정하기 위해서는 우선 그들의 생물량과 종조성에 관한 정확한 정보를 수집해야 한다.

동물플랑크톤은 유영력이 약한 동물군이므로 해수의 흐름에 의존하여 이동하거나 분포한다. 따라서 해수유동은 동물플랑크톤의 분포범위를 결정하는 중요한 요

소로 작용한다. 한편, 담수의 유입은 연안에 분포하는 생물에게 국지적으로 독특한 환경을 제공하며, 주변에 서식하는 타 생물체에 의한 생물학적 요인도 동물플랑크톤의 생물상에 영향을 준다. 종속영양생물(heterotrophs)인 동물플랑크톤은 외부에서 에너지를 공급받아야 하므로, 먹이의 양과 질은 동물플랑크톤의 생물상을 변화시키는 중요한 요인으로 작용한다.

우리나라의 경우, 동물성 플랑크톤의 분류와 서지학적인 연구는 1960년대 이후 실제적인 연구가 이루어진 식물플랑크톤의 분야와 달리 중요 분류군에 대한 검토는 비기복종의 발표와 함께 1990년대에 이르러 서지학적인 정리가 되어왔다. 즉, 지각류가 3속, 7종(유와 김, 1978; 유, 1984; Yoo and Kim, 1987), 요각류가 23속, 112종(박, 1956a; 허, 1964; 이, 1972; Kim, 1985; Chae, 1989; 이, 1989; 임, 1989; 강과 이, 1991; 유·허·이, 1991; Yoo, 1991b), 단각류 10속, 13종(Yoo, 1970, 1971a, b, 1972a), 난바다곤쟁이류 5속, 11종(Hong, 1971; 서 등, 1991), 그리고 모약류 3속 19종(박, 1970; 김, 1987) 등이 보고되어 대개 동물플랑크톤의 분포상은 파악되고 있는 셈이다(유, 1992).

본 연구지역인 광양만은 해양학적으로 많은 관심을 일으켜, 지금까지 광양만에 서는 퇴적물의 분포상과 기원을 밝히는 퇴적학적 연구(박 등 1982, 1984)와 저서성 유공충의 군집분포(김 등, 1996)를 비롯하여, 해조류(이 등, 1975; Lee and Kim, 1977; 송, 1986), 다모류(Choi and Koh, 1984; 정 등, 1995) 및 식물플랑크톤(유 등, 1975; 심과 김, 1981; 차 등, 1984)을 대상으로한 연구가 있었으며, 여수 내만 및 인접해역의 동물성 플랑크톤 종조성과 양적 분포(노, 1981), 여수 근해산 동물플랑크톤의 종조성과 양적분포(심과 노, 1982), 광양만의 동물플랑크톤 군집에 관한 생물학적 연구(Kim, 1984), 광양만의 부유성 요각류 출현량의 계절적 변동(서와 서, 1993) 그리고 광양만 부유생물의 조성 및 양의 계절적 변화(Yang and Kim, 1981) 등에 관한 많은 생물·해양학적 연구가 이루어졌다.

80년대 이후, 광양만 주변해역에 조성되어 있는 공업단지, 주거 밀집지역, 축산 시설, 어패류 양식장 등으로 인한 각종 오염 물질들로 본 연구해역에는 빈중 산발적으로 악조가 발생하고 있으며, 각종 산업 시설이 밀집되어 있기 때문에 대기오염 및 수질오염을 가속화시키고 있는 실정이다(유, 1992).

광양만은 광양발전소를 건설하기 위하여 1983~1984년에 이 지역의 삼각주를 매립하여 대규모 간척사업을 실시하였으며, 최근에는 모든 부근의 간척사업과 하동화력발전소 제 2호기 건설을 위한 부지 조성, 수로 건설, 호안 축조 공사, 향

후 광양제철소 5고로 건설 공사가 진행될 계획으로 있기 때문에 이에 따른 만 내의 환경 변화로 인해 해양 생태계의 파괴가 더욱 가속화 될 것으로 여겨진다.

생물학적 방법을 이용한 해양오염의 정보에 관한 연구는 지금까지 수질의 물리·화학적 요소들만으로 평가해 오던 수질오염의 개념에서 벗어나, 오염이 생물상 및 수생생태계에 미치는 영향과 궁극적으로는 인간의 활동에 미치는 영향을 구체적으로 파악함으로써 연안해역의 보전 및 개발에 대한 예측을 가능하게 할 것이다(환경처, 1993, 1994). Warren(1971)에 의하면, 물리·화학적 특성이 극단적이지 않은 환경에서는 일정한 시간이 지남에 따라 종의 집단이 나타난다. 그리고 이들 종사이의 물론이고 종과 환경의 조건 및 차원사이의 복잡한 상호관계가 발달한다. 조건의 변화성이 과다하지 않을 경우에 일정기간이 지난 뒤, 이 집단은 보다 일정한 특성을 갖게 된다. 환경의 조건과 차원에 의존하는 생물군집은 조건과 차원이 변화할 경우, 그 집단을 구성하는 동·식물 개체군에서의 변화로 반응을 나타낸다.

이러한 복잡한 상호관계에 의한 한 개 또는 그 이상의 개체군을 변화시키는 조건이나 차원의 변화는 개체군의 많은 부분을 변화시키거나, 전혀 다른 개체군에 의해서 기존의 개체군이 대체되도록 하기까지 만든다. 이렇게 되면 상이한 군집으로서 구별될 정도의 다른 종 집단으로 발전된다. 즉, 환경에서의 어떤 변화는 개체생물, 개체군 및 군집사회 내에서의 변화를 야기시키는 것이다. 따라서 한 장소에서의 환경은 그 장소에서 어떤 생물이 서식할수 있는가를 대부분 결정하기 때문에 서식생물은 환경변화의 생물학적 지표가 된다.

이상과 같은 관점에서 본 연구는 광양만을 대상으로 해양생물 군집의 동태 및 생태계의 환경요인 파악을 통한 상호규명과 지표생물을 이용한 수질평가 방법으로 환경충격 등 과거의 해양오염 상태를 추적하거나, 물리·화학적 방법으로 분석이 어려운 오염물질의 영향을 조사함과 아울러 궁극적으로는 조사해역에서 진행되는 해양오염의 생물학적 정보를 가능케 하기 위한 기초 자료축적에 목적을 두고 해역내 총 11개 정점에서 생물상 조사를 실시하였다(Fig. 1).

II. 결과 및 고찰

II-1. 동물플랑크톤

II-1-1. 종조성 및 출현량

1997년 조사해역에서 채집된 동물플랑크톤은 총 22개의 분류군 49종으로 원생동물(Protozoa) 2종(*Noctiluca scintillans*, Radiolaria)을 비롯해 강장동물(Coelenterata) 2종(Hydroida, Siphonophora)이 분류되었으며, 후생동물로는 요각류(Copepoda)가 24종이 동정됨으로써 전체 분류군중 가장 많은 종출현을 나타냈고, 모약동물(Chaetognatha)과 지각류(Cladocera)가 4종으로 요각류 다음의 종출현량을 보였다. 그 외에 흰색동물중 미충류(Appendicularia) 1종과 Salpida가 채집되었으며, 단각류(Amphipoda), 복족류(Gastropoda), 개형류(Ostracoda), 등각류(Isopoda) 및 기타 7종류의 유생(Larvae)과 Fish egg 등이 조사해역에 출현하였다.

동물플랑크톤의 월별 출현량은 평균 2,251~64,620 ind./m³의 분포를 나타냈으며 (Fig. 2), 총 19개군 33종이 분류된 '97년 5월에 4,025~176,228 ind./m³(평균 64,620 ind./m³)의 분포로 가장 많은 출현량을 보였으며, 대포 부근의 정점 3에서 176,228 ind./m³으로 최대치가 조사되었고, 하동화력발전소 부근의 정점 2에서 4,025 ind./m³으로 가장 낮은 출현량을 나타냈다.

조사해역에 출현한 동물플랑크톤의 조성율은 야광충(*Noctiluca scintillans*)의 경우 (Fig. 3A), 평균 8.7~90.9%의 범위를 보였으며, '97년 7월에 0.3~58.9%(평균 8.7%)로 낮은 조성율을 나타냈으며 정점 4에서만 최우점 출현하였다. 최대 조성율은 '97년 5월로서 42.4~97.8%(평균 90.0%)의 범위로 정점 2을 제외한 전 정점에서 최우점군을 형성하였다.

계 2의 우점군은 요각류가 차지하였고 조사기간중 평균 13.3~41.3%의 조성율 범위를 나타냈으며 야광충의 출현량이 창궐했던 '97년 5월에 가장 낮은 조성율을 보였다 (Fig. 3A). 요각류의 평균 조성율의 분포에서 최대치는 '97년 11월에 8.0~87.5%(평균 41.3%)로 정점 1, 6, 7에서 높은 조성율을 차지하였다. 한편, '97년 7월의 경우, 조사해역에 출현한 동물플랑크톤의 그룹별 조성율은 요각류가 12.7~85.9%(평균 40.9%)로 정점 4, 6, 7, 8을 제외한 전 정점에서 최우점군을 형성하였는데, 요각류의 일반적인 성장을 고려하면, 본 조사시기('97. 7)에 조사해역에서 재생산되어 휴지란(diapause eggs)의 상태로 있던 것이 성장하여(Park and Huh, 1997) 7월의 다량 분포로 나타났을 수도 있으나, 해황의 불안정으로 인해 '97년 6월의 조사자료가 누락

되어 이를 구체적으로 판단할 근거자료는 마련하지 못하였다.

일반적으로 생태학적으로 매우 건강한 해역에서 최우점군을 형성하는 것으로 알려진 요각류의 경우(Fig. 3B), 조사기간중 제 1의 우점종으로 출현한 종은 *Paracalanus parvus* 였는데, 본 종은평균 28.5~70.7%의 조성을 범위로 '97년 2, 3, 4월을 제외한 전 기간동안 요각류중 최우점종으로 출현하였으며 가장 높은 출현율을 보인 '97년 9월에 26.3~82.5%(평균 55.4%)의 범위로 POSCO 부근의 정점 5에서 가장 높은 조성을 보였다. '97년 4월의 경우, 12.4~65.3%(평균 28.5%)의 조성을 범위로 낮은 조성을 보였다. POSCO 앞 매립지 부근의 정점 4에서만 우점 출현하였다.

*Acartia omorii*는 '97년 4월에 최우점종으로 출현하였는데, 평균 2.9~55.0%의 범위로 '97년 8월에 0.2~7.4%(평균 3.1%)의 조성을 보여 낮은 출현율을 나타냈다. '97년 4월에는 15.8~78.4%(평균 55.0%)의 범위로 최우점종을 차지하였으며 묘도 부근의 정점 3에서 출현량이 높았다(Fig. 3B). 한편, 본 종은 일본 근해역의 수질이 정제되고 부영양화가 진행되는 내만해역의 유기오염지표종으로 가치가 있다고 보고된 *Acartia* 군집(Yamazaki, 1956; 이, 1972, 한 등, 1995)에 속하는 종이며, 홍 등(1994)과 장(1996)에 의해서도 출현량과 COD 및 영양염은 양의 상관관계가 있음이 고찰된 바, 본 조사시기에 *Acartia omorii*이 우점 출현은 조사 해역의 수질환경이 변화하고 있음을 시사해 준다.

II-1-2. 수괴지표성 동물플랑크톤의 분포

1) 야광충(*Noctiluca scintillans*): 한국 근해역 및 일본이나 여러나라에서 적조원인 생물로 알려진 야광충(*Noctiluca scintillans*)은 '97년 5월에 평균 61,458 inds/m³의 개체수로 조사기간중 가장 높은 출현량을 나타냈으며, 42.4~97.8%(평균 90.0%)의 조성율로 정점 2를 제외한 전 정점에서 최우점군을 형성하였고 '97년 7월을 제외하고 조사기간중 최우점군을 형성하였다. 특히, 본종은 요각류인 *Acartia omorii*와 더불어 부영양화된 해역에 다량 출현하는 것으로 알려진 종으로 주거 및 산업시설이 밀집되어 있는 광양 내만, POSCO 부근 및 여천석유화학공업단지 등의 만내에서 타 지역에 비해 높은 개체수를 보였는데, 이는 광양만 주변에 산재된 가정 및 공장지역의 배출수가 외양역과의 원활한 해수교환이 이루어지지 않아 분산 및 희석작용이 원활하게 이루어지지 않고 있는데 한 원인이 있으며 또한, 준설 및 매립공사를 통해 저층 영양염의 용출에 다른 원인이 있는 것으로 추

측할 수 있다. Kim(1984)은 본 종이 비교적 낮은 수온과 높은 염분(Fung and Trott, 1973)에서 출현하는 종으로 겨울철에 많은 개체가 채집되었음을 보고하였는데, 본 연구에서는 겨울철은 물론이고 춘계에 대량 출현하여 Kim(1984)의 결과와 다소 일치되지 않는 양상을 보였다. 전 조사기간중 야광층의 분포는 주기·공업단지가 밀집되어 하·폐수 등의 오염물질에 직접적인 영향(stress)을 받는 해역이, 외해역이나 만 외부와 같이 오염물질에 비교적 적게 노출된 해역에 비해 개체수 뿐만 아니라 조성율도 높게 나타났다.

본 종에 의한 네트의 clogging 효과 때문에 정량적인 처리에 어려움이 있었으나 계산의 오차를 최소화 하기 위해 최대한 정확히 시료분할기로 적정량의 부차 시료를 얻은 후, 계수하였기 때문에 개체수 및 종 조성율의 비교에는 무리가 없을 것으로 판단되며, 참고로 본 종에 대한 정량적 계수는 채수를 통하여 이루어져야 신뢰성이 높게 나타나는 것으로 알려져 있다(Park and Huh, 1997).

생태학적으로 매우 건강한 해역에서는 요각류가 최우점군으로 나타나는 것이 일반적인 현상인데, 본 조사기간중 *Noctiluca scintillans*의 출현이 조사 해역의 내만 부분에서 장렬한 것은 수질악화를 반영하는 것으로 생각할 수 있으므로 이는 바람직하지 않은 현상이다.

2) 지각류(Cladocera): 본 조사기간중 출현한 해산 지각류는 대부분 난수성 해역에서 출현하는 종으로서 대체적으로 봄철에서 가을철까지 주로 서식하고 있었으며(Fig. 4) 수심이 낮고 수온이 높은 광양만 내부 정점에서 출현량이 높게 나타났다. *Podon leuckarti*의 경우, 4월에 소량으로 출현하여 11월까지 분포하였다. 또한 *Evadne nordmanni*의 경우, 3월에서 9월 그리고 *Penilia avirostris*의 경우는 7월에서 9월까지 본 조사해역에 서식하였으며, 평균 수온이 24.2°C와 27.3°C로 측정된 7월과 8월에 최대 출현량을 나타내었을 뿐 나머지 시기에는 소량 출현하였다. 한편, Yoo and Kim(1987)이 전해만 부분에서 조사한 해산 지각류의 연중 분포에 따르면, *Podon leuckarti*의 경우, 4월에서 5월에 가장 많이 출현하였으며 *Evadne nordmanni*는 3월에서 5월에 분포특성을 나타냈고 하계에서 추계에 걸쳐 *E. tergestina*(6~12월)와 *P. avirostris*(6~11월)의 출현이 탁월함을 기록하였다. 또한, 계절적인 변화에 따른 체장 및 개체수의 증가 현상에 대해 *Evadne tergestina*와 *Podon avirostris*는 수온이 상승함에 따라 체장이 큰 쪽으로 증가하는 경향을 보이고 있으나 *Podon polyphemoides*는 수온 15°C 이하에서 체장이 증가함을 보

고하였다. 그외에도 진해만에 출현한 해산 지각류의 서식 수온범위는 대체적으로 10~28°C 정도이고 겨울철에는 거의 찾아볼 수 없으며, 이러한 양상은 일본의 Inland Sea에서도 유사하게 나타났다(Onbe, 1968, 1974, 1977; Hirota, 1968). 인도양에서 *E. tergestina*는 연중 출현하며 *Penilia avirostris*는 3월에서 9월까지 출현하고 있었음을 보고하였는데(Pillai and Pillai, 1975), 이는 본 조사와 유사하다.

Hue(1967)에 의하면, 지각류는 표층수온이 23~26°C 정도일 때 최대의 출현 개체수가 나타나며, 비록 동일 수괴일지라도 100m내 수온이 8°C이하의 해역에서는 본 분류군이 급격한 수의 감소를 초래하며 저층수의 용승이 일어나는 곳은 출현량이 아주 희박한 것으로 고찰했는데(Yoo and Kim, 1987), 이는 본 연구지역에 출현한 상기 3종의 생태적 특성이 난수성이며 표층에 주로 서식하는 종(Lee, 1974)으로서 상당히 협온성종임을 시사해주며, 난류를 판단하는 수괴지표종으로서의 가치가 큰 분류군임을 시사해 준다. '97년 7월에 동물플랑크톤의 출현 개체수와 종의 수가 증가한 것은 많은 종들이 수온이 상승함에 따라 생리적 적응이 유리하기 때문(Kimmerer and McKinnon, 1985)으로 판단되며 특히, 수온변화에 민감한 지각류의 출현량이 높게 나타난 것으로 보아 '97년 7월의 물리적 환경은 본 종에게 최적의 생태적 적소(niche)로 나타난 것으로 판단된다.

3) 모악동물(Cheatoognatha): *Sagitta enflata*의 경우, 수온이 높았던 '97년 8, 9, 10월에 내만과 외양역에서 비교적 높은 개체수를 보였다(Fig. 5). 본 분류군(Cheatoognatha)은 영국 해협에서 수괴 지표종으로 알려져 있었으며(Russell, 1932a b, 1952; Fraser, 1952), 한국근해의 모악류 분포생태와 수괴지표성으로서의 가치를 활용하여 해역별 수괴구분 및 그 유동에 관한 종합적인 연구는 Tokioka(1940)와 Park(1970)에 의해 많이 진전되었다. 그 결과에 따르면 대한해협에 있어서 수괴지표성으로서 중요한 종류는 *S. elegans*, *S. enflata*, *S. crassa* 및 *S. bedoti*들을 들 수 있으며 이들 종은 한류, 난류 및 혼합수의 출현과 밀접한 관계가 있다는 것(Park, 1967, 1970, 1973)으로 고찰된 바 있다. 또한 난류종인 *S. enflata*, *S. minima*, *S. regularis* 및 *S. serratodentata*와 혼합종인 *S. bedoti*의 분포생태로부터 난류세력의 강약을 보면, 8월이 가장 강한 시기인데 이때는 만 내부지역까지 크게 미치고 있음이 보고되었다(박, 1973).

또한, 해양에서 *Sagitta*의 분포층에 대해 Lim and Chang(1969)은 수괴 분석결과, *S. elegans*의 분포층은 저층수에 해당하며 *S. decipiens*는 저층과 중층에 해당

되고, *S. enflata*, *S. minima*, *S. regularis* 및 *S. serratodentata*의 분포층은 8월은 거의 저층까지 표, 중, 저층에서 모두 채집되며 6월은 표층에만, 10월은 표, 중층에서 나타나는 것으로 고찰하였다. 한편, 난류성 표층종인 *S. enflata*는 난류 주류역에 우세한 종으로(Park, 1967, 1970, 1973; Matsuzaki, 1975) 알려져 있는데, 본 종이 197년 8, 9, 10월에 광양만 및 외양역에 다량 출현하였다는 것은 본 조사시기에 대한해협 서수로를 통과하는 대마난류 세력이 조사해역의 내만까지 영향권을 넓게 확장하고 있었음을 시사해준다.

또한, 수온이 낮은 해역에 주로 서식하는 냉수종으로 알려진 *S. crassa*는 본 조사기간 전반에 걸쳐 출현하였으며 대체적으로 하계에 많은 출현량을 보였다. 또한 본 종은 광양만 내만역에서 높은 출현량을 보였는데, 본 종이 광범위한 수온분포에서도 서식이 가능하다는 것은 *S. crassa*의 출현이 수온이외에 또 다른 환경요인에 의해서도 영향을 받고 있음을 시사해주고 있으며 실제로 Matsuzaki(1975)는 본 분류종을 수온지표종으로써 보다 연안종으로 분류하였다.

4) 요각류(Copepod)

Acartia omorii: *Acartia omorii*는 냉수종으로 알려져 있었으며, 과거 한국 연안에서 우점적으로 출현하는 종으로 연안 생태계에 중요한 위치를 차지했던 *Acartia clausi*(이, 1972; 박과 이, 1982; 실과 노, 1982)가 재분류된 종(강과 이, 1990)이며, 오염된 해역에서 특히 풍부하여 오염지표종을 비는 종으로서 밝혀진 바 있다. 또한, Bradford(1976)도 동경만에서 출현하는 *Acartia clausi*가 형태학적으로 다르다고 밝히며, *Acartia omorii*라는 신종으로 기재한 후, *Acartia clausi*에 대한 재분류가 시도된 종이기도 하다.

한편, 이(1972)는 진해만 및 그 인접해역의 부유성 요각류의 분포에서 *Calanopia*, *Acartia*, *Tortanus* 및 *Pseudodiaptomus* 등의 종류가 5월 이전에 전혀 출현하지 않는 사실로 미루어 보아 정착하는 종으로 해석하기 어렵다고 고찰하였다.

반면, Yamada(1956)는 大村灣에서 조사한 결과로부터 본 군집들이 만내에 정착하는 종이라 하였으며 Ueda(1986)는 본 종(*Acartia omorii*)이 일본 연안의 진해역에서 광범위하게 분포하며 이러한 *Acartia* 군집이 기수역이나 폐쇄된 만에서 다량 출현한다고 보고하여 본 연구와 일치하는 결과를 나타내었다. 또한 본 종은 유기오염 지표종으로 부산항 및 진해만 인접해역 그리고 일본 근해역의 부영양화된 해역에서 다량 출현하는 것으로 밝혀진(홍 등, 1994; 장, 1996) 종으로 COD와의

관계에서 양의 상관관계를 보인 종이다.

*Acartia omorii*는 광양만 부근의 전 조사해역에서 다량 출현하였으며, 야광충이 우점한 '97년 5월에 요각류중 17.0~41.1%(평균 27.4%)의 종조성율을 보였고 평균 805 inds/m³의 출현량을 나타내었다. 특히 광양만 내부의 묘도 부근 해역과 여천 석유화학공업단지에 인접한 정점에서 각각 1,321 inds/m³, 2,118 inds/m³의 높은 개체수를 보였으며, 야광충과 마찬가지로 주거지역 및 산업시설이 밀집된 해역에서 높은 출현량이 조사되었다.

결과적으로 본 종은 광양만 내만 부근의 주거·공업단지가 밀집되어 하·폐수 등의 오염물질에 직접적인 영향(stress)을 받는 해역에서 외해역이나 만 외부와 같이 오염물질에 비교적 적게 노출된 해역에 비해 종 개체수 뿐만 아니라 조성율도 높게 나타났다.

***Centropages abdominalis*:** 연안 저온성인 *Centropages abdominalis*(Brodsky, 1950; 이, 1970; Kim, 1985; 박 등, 1990)는 '97년 1월에서 5월 및 11, 12월에 출현하였으며, '97년 3월에 24.6~54.1%(평균 37.0%)의 범위로 POSCO와 광양만 부근의 정점에서 높은 조성율을 보였으나 외양역에 출현량이 높게 조사되었다.

한편, 본 종은 연안 저온성종으로 한국 근해에 다량 출현하며, 수괴지표종(Yamazi, 1956; Grice, 1962; 박과 이, 1982)으로써 수온 10~15℃, 염분 34~35‰에서 주로 서식하는 것으로 알려져 있으며, 박 등(1992)은 본 종이 층무, 여수간을 중심으로 수온 11~12℃를 나타내는 연안에서 다량 출현함을 보고하였다.

*Centropages abdominalis*가 출현하는 양상은 이미 하계에 진도 부근 해역에 형성된 냉수괴에서 출현했다고 보고된 내용(박, 1967; 강, 1971; Lie, 1984)에서도 밝혀진 바 있는데, 이는 동계에 형성되기 시작한 남해연안 저온수가 세력을 확장, 분포함에 기인한 것이라 생각되며, 이러한 현상은 Kang(1974)과 Gong(1971)의 남해 연안수 변동에 관한 연구에서도 본 연구와 일치하는 결과를 보고하고 있다.

II-1-3. 부영양도 지수(Trophic State Index)와 유기오염도 지수(Organic Pollution Index)

1997년 광양만 및 주변해역에서 조사된 부영양도 지수(TSI)를 보면(Table 1), 수진원(1994)의 방법을 이용한 TSI의 월별 평균 산출범위는 2.1~518.8의 범위로 10월에 가장 높은 값이 조사되었으며, '97년 4월(2.1)과 5월(2.6)에는 낮게 산출되

었다. 정점별 부영양도 지수값 역시 10월에 광양항 컨테이너부두 부근의 정점 6과 여천석유화학단지 부근의 정점 8에서 각각 1,095.2와 1559.1로 최고치를 보였는데, 전체적으로 높은 출현량이 계수된 광양만 주변 해역과 여수 해만 부근의 정점 10에서 높은 평균치를 보였으며 외양역에서 낮게 조사되었다.

Carlson(1977)의 Chlorophyll-a 농도, Secchi disk 투명도 깊이를 기준으로한 수괴의 영양도 지수(TSD)를 조사해역에 적용하면 Appendix 37과 같이 투명도를 근거로 산출한 지수값은 평균 42.2~71.2의 범위를 나타내었으며 투명도가 가장 낮게 측정된 '97년 7월(평균 0.5m)에 71.2로 높은 지수값이 조사되었으며, 반대로 최고치의 투명도값(평균 3.6m)을 보인 2월에 최소값(42.2)을 나타냈다. 정점별 지수값의 범위는 평균 46.2~54.2로 하동화력발전소 부근의 정점 2에서 최고치를 보였고 여수 해만 외양역의 정점 11에서 가장 낮은 지수값이 조사되었는데, 전체적으로 수심이 낮고 투명도가 낮은 내만 부근의 정점에서 높은 지수값이 산출되었으며, 수심이 깊고 외양수와 외양수의 혼합이 비교적 원활한 여수 해만 외양역에서 낮은 값을 보여 수진원(1994)의 결과와 유사한 양상을 나타내고 있었다(Table 1).

공간적 분포는 평균 41.1~48.7의 범위로 Chlorophyll-a의 농도가 높게 측정된 내만역에서 비교적 높은 부영양도 지수값의 분포를 보이고 있었다(Table 1).

양(1996)의 방법에 의해 산출된 유기오염도 지수값을 살펴보면(Table 1), 평균 1.10~4.92의 범위로 야광충의 평균 우점율이 높았던 '97년 10월에 최대값을 보여 국립수산진흥원(1994)에 의해 산출된 부영양도 지수의 분포와 유사한 양상을 보였다. 한편, 본 시기('97. 10)에 측정된 영양염의 농도분포를 보면, 총 무기질소의 농도(TIN)의 경우, 4,122.1~4,542.1 $\mu\text{g}/\ell$ (평균 4,290.3 $\mu\text{g}/\ell$), 인산염 인($\text{PO}_4\text{-P}$)은 75.29~258.73 $\mu\text{g}/\ell$ (평균 146.1 $\mu\text{g}/\ell$)의 범위로 조사기간중 가장 높은 농도값이 조사되었으며, 지표생물로 사용된 야광충(*Noctiluca scintillans*)의 조성율도 47.6~98.1% (평균 79.1%)의 범위로 조사기간중 높은 우점율을 보였다.

V. 결 론

동물플랑크톤의 분포는 수괴의 혼합과 같은 물리적인 현상에 의해서 영향을 받으며(Poulet and Williams, 1991), 먹이망 내에서 하위영양단계인 식물플랑크톤과 상위영양단계인 자척어와의 상호작용과 같은 생물학적 요인에 의해서도 영향을 받을 수 있다. 특히, 연안해역은 다양한 해양환경에 영향을 받으며, 수리 역학

적인 특성이 다양하므로 만내 동물플랑크톤의 종조성 및 분포양상도 이러한 환경요인의 의해 변화한다(Lee, 1972; Suh et al., 1991).

위와 같은 관점에서, 본 연구는 주변에 대규모 산업시설이 위치해 비교적 오염의 정도가 심한 광양만과 인접해역에 출현하는 동물플랑크톤의 출현 양상을 환경요인의 계절변화와 연관시켜 연구하였으며 이에 대한 결론을 내려보면;

1. 조사해역의 동물플랑크톤 출현량은 춘계('97. 5)월에 가장 높고 추계('97. 9)에 낮게 나타났으며, 습중량도 이와 유사한 결과를 보였으며 조사기간중 야광충(*Noctiluca scintillans*)이 7월을 제외한 전 기간동안 최우점군을 형성하였다.
2. 수괴지표성 동물플랑크톤중 오염지표생물인 *Noctiluca scintillans*와 *Acartia omorii*는 오수 및 담수의 유입량이 많은 광양만 내만 부근에서 다량 출현하였으며, 모악동물중 난류성 표층종인 *Sagitta enflata*는 수온이 높게 측정된 '97년 9월에 높은 개체수를 보임과 동시에 난류 주류역에 우세한 종으로, 본종의 다량 출현은 내만에 미치는 난류세력의 영향이 본 조사시기('97. 7)에 강하게 나타났음을 주지시켜 주었다.
 지각류(Cladocera)는 7월에 최대 출현량을 나타냈으며, 협온성종으로 난류를 판단하는 수괴지표종으로서 가치가 큰 분류군임을 보여주었다.
 특히, *Noctiluca scintillans*는 과거에는 광양만에서 일시적인 우점군을 형성했던 것과는 달리, 본 조사기간에 전 조사해역에서 높은 개체수를 보임으로써, 타 해양생물의 서식환경을 크게 저하시켰던 것은 물론 조사해역의 수질 악화를 가늠케 해준다.
3. 유기오염도 지수(OPI)는 주거 및 공업단지가 밀집된 광양내만에서 높게 나타나 본 지역이 하·폐수 등의 오염물질에 직접적인 영향(stress)을 받고 있음을 보여주었고 시기적으로 '97년 4월과 5월에 가장 낮게 조사되었는데, 이는 식물플랑크톤에 의한 무기영양염에서 유기물질의 변환에 따른 결과이며, COD, 질소 및 인이 *Noctiluca scintillans*의 서식환경에 중요한 변수로 판단된다.

참고문헌

- 강영실 · 이삼석, 1990. 한국 연안의 요각류중 *Acartia clausi*로 분류되어지고 있는 종에 대한 재검정 및 분포에 대한 연구. 한수지, 23(5), p.378-384.
- 강영실 · 이삼석, 1991. 한국 근해 동물 부유생물 현존량의 계절적 변동에 관한 연구. 수진연구보고서, 45, p.13-21.
- 김동업, 1987. 한국 서해산 Calanoida목의 분류 및 분포에 관한 연구. 해양연구소 보고서 BSPE 00096-148-3, 153pp.
- 김진경 · 김대걸 · 이희일 · 신임걸, 1996. 광양만 동부해역의 퇴적과징변화와 서서성 유공충 분집분포. 한국해양학회지 '바다' 1권 1호: pp. 32-45.
- 국립수산진흥원, 1991. 부영양화 및 적조현상 규명에 관한 연구, 제 2차년도 연차 보고서, p.40-133.
- 노 인, 1981. 여수해만 및 인접해역의 동물성 플랑크톤의 종조성과 양적 분포에 대하여. 서울대 대학원 논문집, p.5-11.
- 박용안, 이상석, 최진원, 1984. 광양만의 퇴적환경에 관한 연구. 한해지 19(1): p.82-88.
- 박주석, 1970. 한국 근해의 모악류에 관한 연구. 국립수산진흥원 연구논문, 6: 1-174.
- 박주석 · 이삼석, 1982. 남해안의 환경오염 진행과 모악류 및 요각류의 생물학적 오염 지표성 연구. 수진연구보고서, 28, p.89~126.
- 박주석 · 이삼석 · 강영실 · 이병돈 · 허성희, 1990. 한국 남해의 요각류 및 모악류의 분포와 수리특성. 한수지 23(3), 245~252.
- 박태수, 1956a. 한국해역에 있어서 Plankton의 계절적 변화에 관하여. 부산수산대학 연구보고서, 1: 1-12.
- 서호성 · 서해립, 1993. 광양만의 부유성 요각류 출현량의 계절변동, 환경생물학회지, 11(1): 26-34.
- 서해립 · 김수안 · 서호영, 1991. 남극크릴새우의 분포 및 자원량에 관한 연구현황. 한국수산연구소, 2 : 29-49.
- 심재형, 노 인, 1982. 여수 근해산 동물플랑크톤의 종조성과 양적분포. Proc. Coll. Natur. Sci. S.N.U., 7: 165-183.
- 심한준, 김용환, 1981. 광양만 부유생물의 조성 및 양의 계절적 변화. 여수수전논문집, 15: p.35-45

- 송춘복. 1986. 남해안 광양만의 조간대 해조류에 관한 생태학적 연구. 한조지 1(1): p.203-223.
- 양대영. 1996. 해양수질 평가를 위한 식물플랑크톤 오염지표종 및 유기오염도 지수 개발에 대한 연구. 한국해양대학교 석사학위논문.
- 양한춘, 김용환, 1981. 광양만 부유생물의 조성 및 양의 계절적 변화. 여수수전논문집, 15:35~45.
- 이삼석. 1972. 진해만 및 인접해역의 부유성 요각류의 분포. 수진연구보고서, 9, p.7-27.
- 이인주, 김영환, 이정호, 홍정우. 1975. 광양만의 해조류에 관한 연구 1. 해조군집의 계절적 변화. 한식지 18(3): p.109-121.
- 이원철. 1989. 마산만의 요각류 군집에 대한 생태학적 연구. 한양대학교 석사학위논문.
- 임동현. 1989. 한국 근해에 있어 Oithonidae(Copepoda, Cyclopoida)과의 분류적 기재와 지역분포.
- 임현식 · 홍재상. 1994. 진해만 저서동물의 군집생태. 1. 저서환경. 한수지, 27(2), p.200-214.
- 유광일, 1992. 우리나라 플랑크톤 연구의 현황과 전망. 한국해양연구소, 해양연구, 14(2), p.205-216.
- 유광일, 홍순우, 하영철, 이정호. 1975. 플랑크톤 및 기초생산력 조사 연구. 호남정유공장을 중심으로한 광양만 일대의 수질, 해상 및 생태학적 조사. 과학기술처 STF-74-6: p.120-135.
- 유광일. 1984. 한국산 동물플랑크톤 연구의 발자취. 운초 정영호박사 화갑 기념문집: 359-363.
- 유광일 · 김동엽. 1978. 남해안에 있어서의 부유성 지각류의 계절적 성장. 한국해양학회 1978년도 추계 연구논문발표요지.
- 유광일 · 허희권 · 이원철. 1991. 한국 연안에 분포하는 Acartia속 요각류의 분류학적인 재검토. 한국수산학회지, 24 : 255-265.
- 장민철. 1996. 부산 및 진해 연근해에 출현하는 동물플랑크톤 오염지표종 개발에 대한 연구. 한국해양대학교 대학원 석사논문.
- 정래홍 · 홍재상 · 이재학. 1995. 광양만 조하대의 두 다모류 군집 구조의 시간에 따른 변화. 한국해양학회지, 30(5), pp. 390-402.

- 차재영, 신윤근, 이광호. 1984. 광양만 식물플랑크톤 분포에 관한 연구. *한해시* 19(2): p.172-186.
- 한동훈 · 홍성운 · 마채우. 1995. 득량만 동물플랑크톤의 분포. *한수지* 28(5), 517-532.
- 허종수. 1964. 하기 동해측의 동물성 부유생물의 분포. *국립수산진흥원 연구보고*, 1: 7-32.
- 환경처. 1993. 부영양화 및 적조현상 규명에 관한 연구. 1차년도 보고서, p.9-18, p.70-94, 1pp.
- 환경처. 1994. 부영양화 및 적조현상 규명에 관한 연구. 2차년도 보고서, p.158-164, 1pp.
- 홍성운 · 마채우 · 강영실. 1994. 부산항 해역의 지표성 요각류 분포 및 동물플랑크톤 분포. *해양학회지*, 29권 2호, p.132-144.
- Bradford, J. M. 1976. Partial revision of the *Acartia* subgenus *Acartiura*(Copepoda: Calanoida: Acartiidae). *New Zeal. J. Mar. Freshwat. Res.* 10, p.159-202.
- Barlow, J. P. 1955. Physical and biological processes determining the distribution of zooplankton in a tidal estuary. *Biol. Bull.*, 109, p.211-225.
- Brodsky, K. A. 1950. Calanoida of the far eastern seas and polar basin of the USSR. *Opred. Fauna USSR* 35, 1-144, Figs. 1-306.
- Brower, J. E. and J. H. Zar, 1977. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. Wm. C. Brown Company Publ. 194pp.
- Carlson, R. E., 1977. A trophic state index for lake. *Limnol. Oceanog.*, 22: 361-369.
- Chae, J. H. 1989. Taxonomy on the genus *Sapphirina*(Copepoda : Poecilostomatoida) in Koeran waters. M. S. thesis, Hanyang University.
- Choi, J. W. and C.H. Koh. 1984. A Study of polychaete community in Kwangyang Bay, Southern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.* 19(2): p.153-162.
- Fraser, G. H. 1952. The Chaetognatha and other zooplankton of the Scottish area and their value as biological indicators of hydrographical conditions. *Mar. Res.*, 2 : 5-52.
- Fung, Y. C. and L. B. Trott. 1973. The Occurrence of a Noctiluca scintillans(Macartney) Induced Red Tide in Hong Kong. *Limnol.*

- Oceanogr. Vol. 18(3) : 472-476.
- Gong, Y. 1971. A study on the Korean coastal front. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 6 : 25-36 (in Korean).
- Grice, G. D. 1962. Calanoid copepods from equatorial waters of the Pacific Ocean. *Fish. Bull. U. S.* 61, p.177-246.
- Hirota, R., 1968. Zooplankton investigation in the Setonaikai(Inland Sea of Japan), I. Occurrence of zooplankton in the western half of the Setonaikai in June, 1963. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 24: 203-211.
- Hong, S. Y. 1971. The euphausiid crustaceans of Korean waters. P. 291-300. in J. C. Marrs ed., *The Kuroshio-A symposium on the Japan current.* East-West Center Press, Honolulu.
- Kang, C. J. 1974. A study on the seasonal variation of the water masses in the southern sea of Korea. *Bul. Fish. Res. Dev. Agency, Korea*, 12: 107-121 (in Korean).
- Kim, D. Y. 1985. Taxonomical Study on Calanoid Copepod(Crustacea : Copepoda) in Korean Waters. Ph. D. Dissertation. Hanyang University.
- Kim, W. S., 1984. An ecological study on the Zooplankton community in Kwangyang Bay, Korea, M. S. thesis S. N. U.
- Kimmerer W. J. and A. D. McKinnon, 1985. A comparative study of the zooplankton in two adjacent embayments. Port Phillip and Westernport bays, Australia. *Estu. Coast. Shelf Sci.* 21: 145-159.
- Kwang-Il Yoo and Se-Wha Kim, 1987. Seasonal Distribution of Marine Cladocerans in Chinhae Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, Vol. 22, No. 2. p.80-86.
- Lance, J. 1963. The salinity tolerance of some estuarine planktonic copepods. *Limnol. Oceanogr.*, 8, p.440-449.
- Lee, I. K. and Y. H. Kim, 1977. A study of on the marine algae in the Kwang Yang Bay, 3. The marine algal flora. *Proc. Coll. Natur. Sci. SNU* 2(1) : p.113-153.
- Lee, J. W. 1974. The vertical distribution and diurnal migration of Cladocera, *Evadne normanni* LOVEN at different stations in the Irish Sea. *J.*

- Oceanol. Soc. Korea 9, p.1-9.
- Lee, W. C. 1989. Ecological study on copepod community Masan Bay. M. S. Thesis, Hanyang Univ., 66pp (in Korean).
- Lim, D. B. and S. D. Chang, 1969. On the cold water mass in the Korea Strait. J. Oceanol. Soc. Korea 4, 71-82.
- Matsuzaki, M. 1975. On the distribution of chaetognaths in the East China Sea. Japan Meteorol. Agen., 26(2), 57-61.
- Omori, M and T. Ikeda, 1984. Methods in Marine Zooplankton Ecology. A Wiley Interscience Publication. 332pp.
- Onbe, T., 1968. Studies on the marine cladocerans I. A biological note on *Penilia*. J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ., 7: 269-279(in Japanese with English abstract).
- Onbe, T., 1974. Studies on the ecology of marine cladocerans. *ibid.*, 13: 83-179(in Japanese with English abstract).
- Onbe, T., 1968. The biology the marine cladocerans in a warm temperature water. Proc. Sym-p. Warm Water Zoopl., Spec. Pub. UNESCO/Nat. Inst. Oceanogr.(Goa), 383-398.
- Park, C and S. H. Huh, 1997. Ecological Stability of the Shihwa Lake Evaluated by Zooplankton Distribution in the Lake Shihwa and Adjacent Coastal Area. 'The Sea: The Journal of the Korean Society of Oceanography Vol. 2, No. 2, p.87-91.
- Park, J. S. 1967. Chaetognatha and plankton in the Korean waters. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, No. 1, p.33-62.
- Park, J. S. 1973. Zooplankton Abundance in Korean waters. J. Oceanol Soc. Korea. 8, p.1-174.
- Parsons, T. R., M. Takahashi and B. Hargrave, 1984. Biological Oceanographic Processes. 3rd. ed. Pergamon Press, Oxford, p.1-330.
- Pielou, E. C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. J. Appl. Ecol. 5 :483-488.
- Pillai, P. P. and M. A. Pillai, 1975. Ecology of the cladocerans of the plankton community in the Cochin blackwater. Bull. Dep. Mar. Sci. Univ.

- Cochin, 7: 127-136.
- Poulet. S. A. and Williams, 1991. Characteristics and propertoes of copepods affecting the recruitment of fish larvae. Proceeding of the fourth international conference on copepoda. Bull. Plankton Soc. Japan Spec, Vol.(1991) : 271-290.
- Raymont, J. E. G., 1983: Plankton and Productivity in the Oceans. Ed. by pergamon Press Ltd.: 729~782pp.
- Russell, F. S. 1932a. On the biology of *Sagitta*. -The breeding and growth of *Sagitta elegans* Verrill in the Plymouth area 1930-'31. -J. Mar. Biol. Assoc. U. K., 18(1) : 131-145.
- Russell, F. S. 1932b. On the biology of *Sagitta*. 2. The breeding and growth of *S. setosa* in the Plymouth area with a comparison with that of *S. elegans* Ibid., 18(1) : 147-160.
- Russell, F. S. 1952. The relation of plankton research to fisheries hydrography. Cons. Int. Explor. Mer, Rapp. et P. V., 131. Contributions to spec. sci. Meeting 1951, Fisheries hydrography: p.28-34.
- Suh, H. L., H. Y. Soh and S. S. Cha. 1991. Salinity and distribution of zooplankton in the estuarine system of Manyong River and Dongjin River. J. Oceanol Soc. Korea, 26(3), 181-192 (in Korean).
- Tokioka, T. 1940. The chaetognath fauna of the waters of Western Japan. Rec. Oceanogr. Wks. Japan 12, 1-122.
- Ueda. H. L. 1968. Toxonomic reexamination and geographic distribution of Copepods known as *Acartia clausi* in Japanese coastal and inlet waters, J. Oceanogr. Soc. Japan, 42 : 124-133.
- Warren, C. E. 1971. Biology and water pollution control. W. B. Saunder Co. Philadelphia, London. 434pp.
- Yamazi, I. 1956: Plankton investigation a inlet waters along the coast of Japan. XIX. Reigional characteristics and classification of inlet waters based on the plankton communities. Publ. Seto Mar. Biol Lab., V(2), 157~196, pls. 16~23.
- Yang, H. C. and Y. K. Kim, 1981. Seasonal changes in Abundance and

- Composition of Plankton in the Kwangyang Bay, Korea. Thesis Collect. Yeosu Nat. Fish. Coll., 15 : 33-45.
- Yoo, K. I. 1970. On the distribution of pelagic Amphipod, *Cyphocaris challengeri*(Gammaridea : Lysianssidae) in the weasten North Pacific, Korean J. Zool. 14 : 94-100.
- Yoo, K. I. 1971a. Pelagic Hyperiid(Amphipod-Hyperiid) of the weasten North Pacific Ocean, J. Nat. Acad. Sci., Replibc of Korea, 10 : 39-89.
- Yoo, K. I. 1971b. The Biology of the Pelagic Amphipod, *Primno macropa* Guer., in the weasten North Pacific, 1. Systematics. Korean J. Zool. 14 : 132-138.
- Yoo, K. I. 1972a. The Biology of the Pelagic Amphipod, *Primno macropa* Guer., in the weasten North Pacific, 2. Geographical Distribution and Vertical Migration Pattern. Korean J. Zool. 15 : 87-91.
- Yoo, K. I. 1991b. Zooplankton studies of Yellow Sea in Korea. Yellow Sea Research 4 : 31-37.
- Yoo, K. I. and S. W. Kim. 1987. Seasonal distribution of marine cladocerans in Chinhae Bay, Korea. J. Oceanol. Soc, Korea 22 : 80-86.
- Yoo, K. I. and J. H. Lee. 1980. Environmental studies of the Jinhae Bay 2. Environmental parameters in-relation to phytoplankton population dynamics. *J. Oceanol. Soc. Korea*, Vol. 15, No. 1, p.62-65.

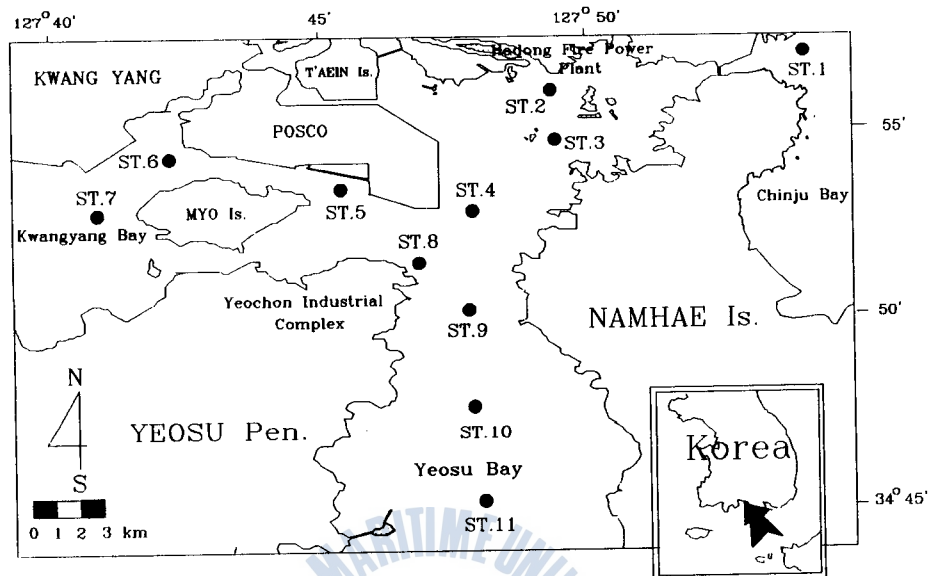


Fig. 1 Map showing the sampling stations in the study area.

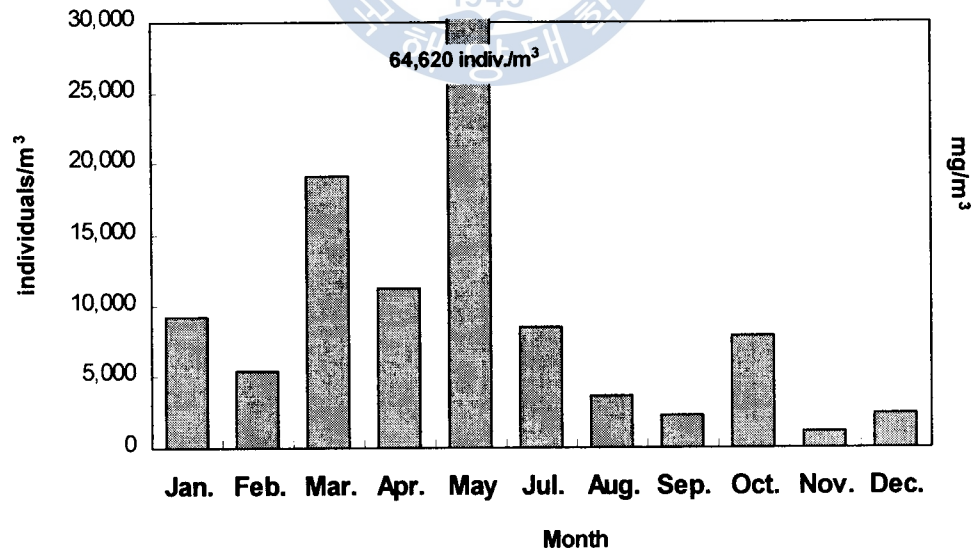


Fig. 2 Monthly variation of zooplankton abundance(indiv./m³) in the study area.

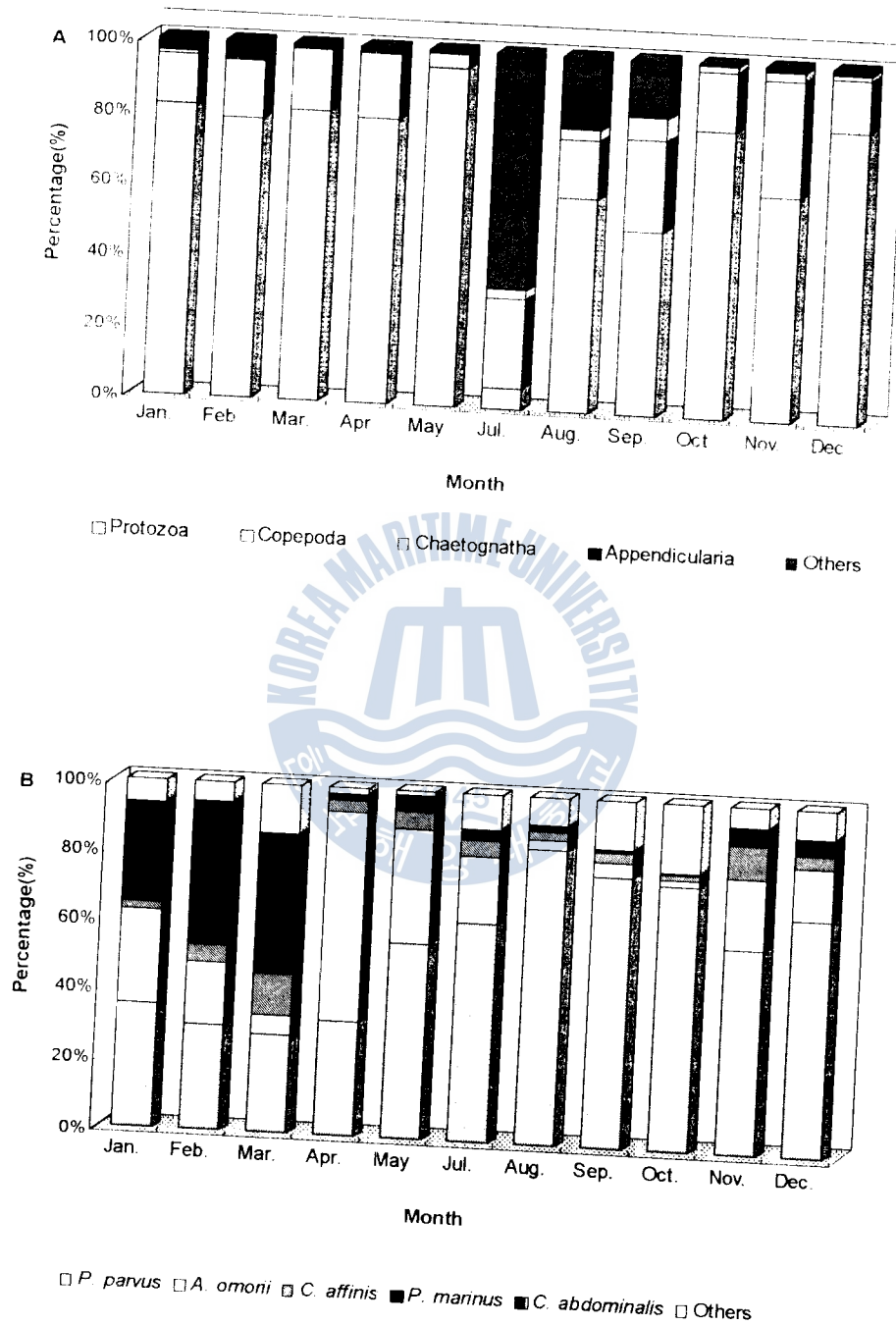


Fig. 3 Percentage composition of zooplankton groups(A) and dominant copepod species(B) in the study area.

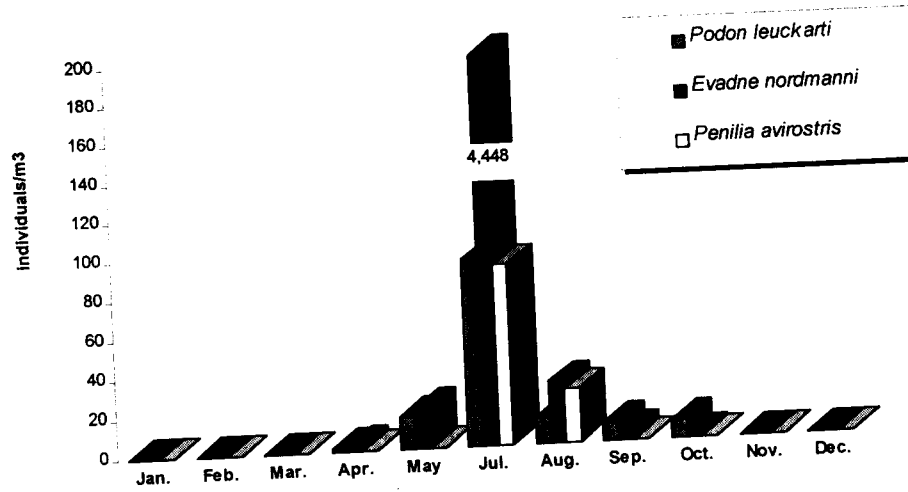


Fig. 4 Monthly distribution of Cladocera in each study area.

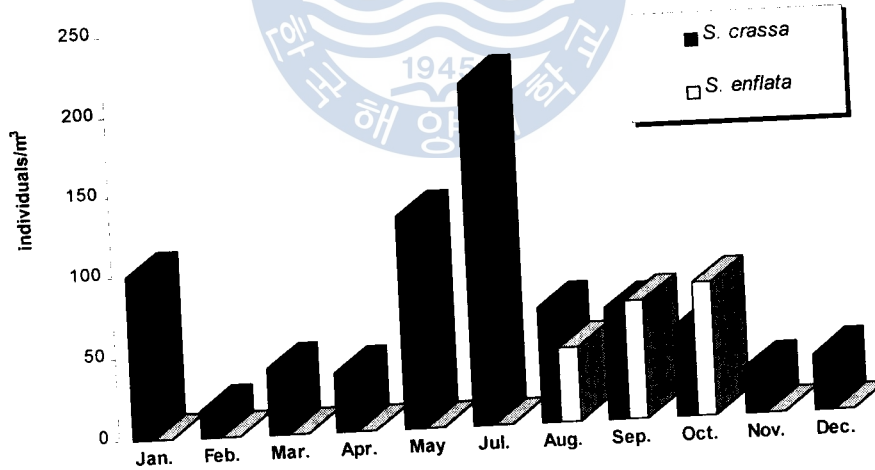


Fig. 5 Monthly distribution of Chaetognath in each study area.

Table 1 TSI(Trophic State Index) and OPI(Organic Pollution Index) of each station in the study area, 1997.

St. No	January				February				March			
	TSI			OPI	TSI			OPI	TSI			OPI
	Trans.	Chl a	N.F.D		Trans.	Chl a	N.F.D		Trans.	Chl a	N.F.D	
1	44.2	57.2	9.5	1.9	38.3	44.2	3.3	1.4	49.3	54.2	21.4	2.2
2	48.0	51.7	17.1	2.3	44.2	29.0	2.2	1.4	48.0	49.2	42.5	2.7
3	41.6	39.4	19.7	2.4	40.0	41.8	5.6	1.9	48.6	50.2	38.7	2.7
4	53.2	60.0	11.2	2.2	44.2	52.8	14.2	2.2	60.0	54.7	55.4	2.9
5	53.2	62.0	18.0	2.4	41.9	48.2	16.9	2.3	51.5	56.4	13.5	2.2
6	48.0	61.2	19.2	2.4	44.2	35.6	13.3	2.1	63.2	36.2	27.0	2.6
7	50.0	61.5	19.2	2.4	51.5	55.6	10.5	2.0	51.5	55.4	44.8	2.8
8	50.0	60.7	15.1	2.3	45.1	56.3	8.4	1.9	47.4	51.5	15.8	2.2
9	49.3	38.8	8.1	2.0	40.0	51.9	32.9	2.6	47.4	48.7	28.0	2.4
10	45.7	38.3	7.9	2.0	40.0	34.9	8.4	1.9	48.6	49.5	31.7	1.9
11	43.2	35.3	15.0	2.3	35.4	29.3	1.4	1.1	46.8	49.4	16.2	1.5
Min.	43.2	31.3	7.9	1.9	35.4	29.0	1.4	1.1	46.8	48.7	13.5	1.5
Max.	53.2	62.0	19.7	2.4	51.5	56.3	32.9	2.6	63.2	56.4	55.4	2.9
Ave.	48.1	38.5	14.6	2.2	42.2	45.4	10.6	1.9	50.2	52.3	30.4	2.4

St. No	April				May				July			
	TSI			OPI	TSI			OPI	TSI			OPI
	Trans.	Chl a	N.F.D		Trans.	Chl a	N.F.D		Trans.	Chl a	N.F.D	
1	43.2	37.8	2.0	1.0	30.0	37.8	2.8	1.5	70.0	67.8	27.5	0.0
2	50.7	36.6	3.7	1.5	54.2	51.0	3.6	1.7	77.4	63.7	31.8	1.7
3	43.7	47.6	1.1	1.1	44.2	21.6	3.4	1.8	77.4	51.8	18.3	1.1
4	48.0	46.3	4.6	2.0	50.0	33.7	1.2	1.3	65.1	51.4	31.9	2.8
5	46.8	30.3	1.0	1.0	46.8	45.2	6.0	2.2	67.4	64.9	28.2	0.7
6	47.4	47.7	2.6	1.5	30.0	34.9	1.7	1.5	70.0	61.4	26.2	0.6
7	61.5	47.0	2.5	0.4	57.4	37.2	3.2	1.7	70.0	67.1	20.3	0.0
8	58.6	43.4	1.5	1.1	50.0	24.7	4.1	1.9	70.0	62.8	41.2	0.7
9	41.9	42.5	0.8	0.8	46.8	34.4	0.4	0.9	73.2	49.0	25.6	1.3
10	40.0	42.1	1.3	1.0	44.2	21.0	1.8	1.4	70.0	65.0	21.2	1.7
11	41.9	37.9	1.4	0.8	40.0	32.6	0.6	1.0	73.2	67.2	32.7	2.4
Min.	40.0	36.6	0.8	0.4	40.0	21.0	0.4	0.9	65.1	49.0	18.3	0.0
Max.	61.5	50.3	4.6	2.0	57.4	51.0	6.0	2.2	77.4	67.8	41.2	2.8
Ave.	47.6	43.6	2.1	1.1	48.5	34.0	2.6	1.5	71.2	61.1	27.7	1.2

N.F.D: National Fisheries Development and Research Institute

Table 1 (continued)

TSI(Trophic State Index) and OPI(Organic Pollution Index) of each station
in the study area, 1997.

St. No.	August				September				October			
	TSI			OPI	TSI			OPI	TSI			OPI
	Trans.	Chl-a	N.F.D		Trans.	Chl-a	N.F.D		Trans.	Chl-a	N.F.D	
1	41.9	46.7	11.3	2.4	50.0	34.6	23.2	2.6	54.2	41.7	482.6	5.2
2	60.0	49.1	30.1	2.8	55.1	30.3	29.9	2.2	54.2	45.9	181.7	4.7
3	50.0	38.3	17.6	2.6	57.4	44.5	169.8	3.9	50.0	43.4	127.5	4.4
4	54.2	53.3	38.5	3.0	50.0	39.7	169.8	3.6	50.0	40.4	315.8	4.7
5	44.2	48.4	17.4	2.4	54.2	36.1	66.4	2.5	54.2	43.1	170.1	4.6
6	60.0	45.6	15.2	2.5	55.1	37.0	309.5	3.4	54.2	43.6	1,095.2	5.2
7	40.0	45.6	21.1	2.8	46.8	42.0	9.1	2.3	50.0	43.8	523.7	5.1
8	44.2	42.5	28.2	2.9	54.2	42.8	56.3	3.0	54.2	42.5	1,559.1	5.5
9	46.8	51.1	16.4	2.5	48.0	38.3	22.1	2.1	50.0	41.5	110.4	4.4
10	40.0	47.6	19.7	2.8	40.0	42.0	13.4	2.2	46.8	42.1	967.2	5.5
11	41.9	47.0	29.1	2.7	38.3	42.0	29.1	2.9	40.0	21.0	173.2	4.7
Min.	40.0	38.3	11.3	2.4	38.3	30.3	9.1	2.2	40.0	21.0	127.5	4.4
Max.	60.0	53.3	38.5	3.0	57.4	44.5	309.5	3.9	54.2	45.9	1,559.1	5.5
Ave.	47.6	46.8	22.2	2.7	49.9	39.0	81.7	2.8	50.7	40.8	518.8	4.9

St. No.	November				December			
	TSI			OPI	TSI			OPI
	Trans.	Chl-a	N.F.D		Trans.	Chl-a	N.F.D	
1	50.0	40.4	25.9	2.1	46.8	45.7	40.7	3.2
2	54.2	40.7	32.6	3.0	50.0	39.1	45.7	3.4
3	54.2	43.6	58.7	3.3	50.0	44.5	86.0	3.7
4	55.1	39.5	24.5	2.7	54.2	41.9	43.3	3.4
5	54.2	38.3	52.6	3.0	54.2	42.8	40.7	3.4
6	56.2	42.8	76.4	3.0	54.2	40.5	61.6	3.7
7	57.4	41.6	40.5	2.7	46.8	23.3	50.8	3.5
8	60.0	38.9	34.7	2.0	60.0	37.5	61.1	3.4
9	54.2	38.0	42.4	3.1	50.0	41.6	130.1	4.0
10	57.4	41.6	51.5	3.1	44.2	41.5	87.5	4.0
11	65.1	37.0	22.0	2.8	41.9	36.9	52.8	3.5
Min.	50.0	37.0	22.0	2.1	41.9	23.2	40.7	3.2
Max.	65.1	43.6	76.4	3.3	60.0	45.7	130.1	4.0
Ave.	56.2	40.2	42.0	2.8	50.2	39.6	63.7	3.6

- N.F.D: National Fisheries Development and Research Institute