Article

북동 태평양수역에서 위도에 따른 부유 원생동물의 분포

양은진^{1*} · 최종기¹ · 김웅서²¹인하대학교 해양학과

(402-751) 인천광역시 남구 용현동 253

²한국해양연구원 해저환경 · 자원연구본부

(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호

The Distribution of Planktonic Protists Along a Latitudinal Transect in the Northeast Pacific Ocean

Eun Jin Yang^{1*}, Joong Ki Choi¹, and Woong-Seo Kim²¹Department of Oceanography, Inha University

Incheon 402-751, Korea

²Marine Geoenvironment and Resources Research Division, KORDI

Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstracts : As a part of Korea Deep Ocean Study program, we investigated the distribution of planktonic protists in the upper 200 m of the northeast Pacific from 5°N to 17°N, along 131°30'W. Area of divergence was formed at 9°N which is boundaries of the north equatorial counter current (NECC) and the north equatorial current (NEC) during this cruise. Chlorophyll-*a* concentration was higher in NECC than in NEC area. Pico chl-*a* (<2 μ m) to total chl-*a* accounted for average 89% in the study area. The contribution of pico chl-*a* to total chl-*a* was relatively high in NEC area than in NECC area. Biomass of planktonic protists, ranging from 635.3 to 1077.3 mgC m⁻² (average 810 mgC m⁻²), was most enhanced in NECC area and showed distinct latitudinal variation. Biomass of HNF ranged from 88.7 to 208.3 mgC m⁻² and comprised 15% of planktonic protists. Biomass of ciliates ranged from 123.6 to 393.0 mgC m⁻² and comprised 25% of planktonic protists. Biomass of HDF ranged from 407.2 to 607.8 mgC m⁻² and comprised 60% of planktonic protists. HDF was the most dominant component in both NECC and NEC areas. Nano-protist biomass accounted for more than 50% of total protists in the both areas. The contribution of nanoprotist to total protists biomass was relatively higher in NEC area than in NECC. The biomass of planktonic protists was significantly correlated with phytoplankton biomass in this study area. The size structure of phytoplankton biomass coincided with that of planktonic protists. This suggested that the structure of the planktonic protists community and the microbial food web were dependent on the size structure of the phytoplankton biomass. However, biomass and size structure of planktonic protist communities might be significantly influenced by physical characteristics of the water column and food concentration in this study area.

Key words : 북동 태평양(Northeast Pacific Ocean), 부유 원생동물(planktonic protists), 종속영양 와편모류(heterotrophic dinoflagellates), 섬모충류(ciliates), 종속영양 미소편모류(heterotrophic nanoflagellates)

1. 서 론

해양의 표영생태계에서 부유 원생동물은 미소형 및 소

형 동물플랑크톤의 중요한 구성자로 종속영양 미소편모류, 섬모충류, 종속영양 와편모류, 방산충류, 유공충류로 구성되어 있다(Stoecker and Capuzzo 1990). 부유 원생동물은 작은 크기와 상대적으로 빠른 신진대사 활동으로 인해 생태계의 에너지 흐름을 촉진하며, 다양한 크기의 먹이

*Corresponding author. E-mail : Ciliate@hanmail.net

를 효과적으로 섭식하고, 중형동물 플랑크톤의 중요 먹이원이 되기 때문에 해양 생태계의 기저부에 미세생물 먹이망과 중형 동물플랑크톤 먹이망을 연결하는 에너지 전달과 유기물질의 순환에 중요한 역할을 한다(Sieburth *et al.* 1978; Azam *et al.* 1983; Sheldon *et al.* 1986; Rassoulzadegan *et al.* 1988; Sherr *et al.* 1988). 전형적으로 원생동물의 생물량은 외해역에서 식물플랑크톤과 유사한 분포를 보이며, 해양 일일 일차 생산력의 10-70% 또는 100% 이상까지 소비하기 때문에 해양 먹이망의 탄소순환에 중요하게 기여한다(Pierce and Turner 1992). 특히 북동 태평양과 같은 빈영양 해역에서 식물플랑크톤 생물량은 중형 동물플랑크톤에게 효과적으로 이용될 수 없는 극미소 식물플랑크톤($<2 \mu\text{m}$)으로 구성되어 있기 때문에 열대와 아열대의 빈영양 수역에서 이러한 극미소 식물플랑크톤을 이용하는 원생동물의 역할은 다른 해역과 비교해서 특히 중요하게 연구되고 있다(Sherr *et al.* 1986; Verity *et al.* 1996).

북동 적도 태평양 지역은 해류의 특성에 따라 서로 다른 물리, 화학적 환경 특성을 나타내는 수역으로 서쪽으로 향하는 북적도 해류와 동쪽으로 향하는 적도 반류가 국부적으로 만나 그 경계면에서 국지적인 발산을 형성하는 수역이다(Pickard and Emery 1982). 이와 같이 해류의 특성에 의한 수렴 및 발산의 형성은 표층수괴에 영양염 농도를 증가시키고, 박테리아와 식물플랑크톤의 생산력을 강화시킨다(Betzer *et al.* 1984; Chavez and Barber 1987; Chavez *et al.* 1996; Hyun *et al.* 1998; Son *et al.* 2001). 이제까지 북동 태평양에서 부유 원생동물에 대한 연구는 적도 태평양을 중심으로 하여 엘니뇨와 라니냐의 이상 기후가 발생했던 시기에 중점적으로 조사 되었으며, 주로 식물플랑크톤에 대한 소형 동물플랑크톤의 섭식물과 원생동물의 생물량에 대한 조사가 이루어 졌다. 그러나 평년기에 원생동물의 모든 군집을 대상으로 한 연구는 드물게 보고되었다(Landry *et al.* 1995; Chavez *et al.* 1996; Verity *et al.* 1996; Brown and Landry 2003; Landry *et al.* 2003; Yang *et al.* 2003).

본 조사수역은 북동 태평양 수역의 북적도 반류대와 북적도 해류대를 포함하는 수역으로 해류의 특성에 따라 서로 다른 물리 화학적 특성을 나타낸다(해양수산부 2003). 본 연구는 북동 태평양 수역에서 해류에 의한 수괴의 특성에 따른 부유 원생동물의 생물량 분포와 군집구조에 대하여 조사하였다. 또한 부유 원생동물과 식물플랑크톤의 관계를 통해 북동 태평양 수역의 표층 생태계에서 부유 원생동물의 중요성에 대해 논의하였다.

2. 연구방법

조사수역 개관

본 조사는 2003년 7월 Korea Deep Ocean

Fig. 1. Map of study area showing location of sampling sites.

Study(KODOS) 03-3 탐사 기간 동안 북동 태평양 5°N-17°N와 131°30'W 구간에서 1°N 간격으로 총 13개 정점에서 수행되었으며, 각 정점은 위도별로 정점 N5-정점 N17로 표기하였다(Fig. 1). 조사수역의 일반적인 수괴특성은 서향의 남적도 해류가 5°N 이남에서 나타나며, 동향의 북적도 반류는 5°N-10°N에서 나타나고, 10°N-30°N 사이에서는 서향의 북적도 해류가 나타난다. 10°N를 중심으로 하여 남쪽과 북쪽으로 등온선의 수심이 깊어지며, 표면 혼합층은 10°N를 중심으로 하여 북쪽에서는 얕아지고 남쪽에서는 깊어지는 특성을 보인다(Wyrtki and Kilonsky 1984). 본 조사기간에는 남적도 해류의 특성을 정확하게 보여주지는 않았으며, 9°N을 중심으로 발산이 형성되어 9°N의 남쪽수역에서는 북적도 반류의 특성을 보였고, 9°N의 북쪽수역에서는 북적도 해류의 특성을 보였다. 그러나 북적도 해류에 위치한 15°N의 80 m 깊이에서 용승현상이 일부 발생하였으며, 14°N-15°N에서는 국지적으로 중규모의 intrathermocline eddy가 나타나는 특징을 보였다(해양수산부 2003).

부유 원생동물의 현존량 분석

수층내 원생동물의 생물량을 파악하기 위하여 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 120, 150, 200 m와 엽록소 최대층(chlorophyll maximum layer)에서 해수를 1000 ml 채수하여 Lugol's 액으로 최종농도 1% 되게 고정하였다. 고정된 시료는 실험실로 운반해 원생동물의 관찰을 위해 시료를 50 ml까지 가라앉게 한 후 S-R chamber와 sedimentation chamber를 사용하여 광학 현미경(Nikon Type 104)과 형광 전도 현미경(Olympus IX 70)으로 관찰하였다. 종속영양 미소 편모류와 미소형 종속영양 와편모류($<20 \mu\text{m}$)의 생물량을 파악하기 위해 150 ml의 해수를 채수하여 글루타르알데하이드로 최종농도 1%가 되게 고정한 후 냉동 보관하여 실험실로 운반하였다. 운반된 시료 100-120 ml를 0.45 μm nucleopore polycarbonate black filter와 5 μm

nuclepore polycarbonate black filter로 각각 여과하여 DAPI(Porter and Feig 1980)로 최종농도 $5 \mu\text{g ml}^{-1}$ 가 되게 염색한 후 형광현미경(Nikon type 104)을 사용하여 종속 영양성을 구분하였다.

부유 원생동물의 탄소량 전환값

종속영양 미소 편모류의 탄소량은 현미경하에서 체적을 구한 후 Børsheim and Bratbak(1987)의 전환값인 $220 \text{ fgC } \mu\text{m}^{-3}$ 을 이용하여 구하였다. 그외 원생동물은 현미경하에서 각 세포 크기를 측정된 후 세포 용적을 Edler (1979)의 방법에 따라 구하였다. 유충 섬모충류(tintinnids)는 $\text{carbon(pg)} = 44.5 + 0.053 \text{ lorica volum}(\mu\text{m}^3)$ (Verity and Langdon 1984)의 식에 따라 구하였으며, 피각이 없는 빈모 섬모충류(oligotrichs)는 $0.19 \text{ pgC } \mu\text{m}^{-3}$ (Putt and Stoecker 1989)의 전환값을 사용하여 환산하였다. 와편모류의 탄소량은 Edler(1979)의 방법에 따라 용적을 구한후 Menden-Deuer and Lessard(2000)의 실험식인 $\text{Carbon(pg)} = 0.216$

$[\text{volume, m}^3]^{0.939}$ 을 이용하여 각 세포의 탄소량을 구하였다. 방산충류의 탄소량은 Michaels *et al.*(1995)의 식을 이용하여 측정하였다.

엽록소-a 농도

각 정점의 0, 10, 30, 50, 75, 100, 120, 150, 200 m 와 엽록소 최대층에서 해수를 채수하여 Turner Design Fluorometer(10-AU)를 사용하여 현장에서 측정하였다. 크기별 엽록소-a 농도는 PC membrane filter pape($2 \mu\text{m}$ pore size)를 이용하여 크기구배를 한 후, $2 \mu\text{m}$ 이하의 극미소 크기와 $2 \mu\text{m}$ 이상으로 크기를 구분하였다. 크기별 엽록소-a 농도를 측정하기 위하여 해수 1000-2,300 ml를 Millipore 여과지($0.45 \mu\text{m}$ pore size)로 여과한 후 여과지를 90% 아세톤에 하루정도 추출한 후 절대값을 측정하였다.

시료 분석 및 통계처리

Fig. 2. Depth distribution of chlorophyll-a concentration and depth integrated chlorophyll-a along a latitudinal transect in the study area.

조사수역에서 부유성 섬모충류는 피각이 없는 빈모 섬모충류(oligotrichs)와 피각을 갖고 있는 유종 섬모충류(tintinnids)로 구분하여 분석하였다. 종속영양 외편모류는 크게 *Protoperidinium* sp. 같이 피각을 갖고 있는 유각(thecate) 외편모류와 *Gyrodinium* sp.와 *Gymnodinium* sp. 같은 피각을 갖고 있지 않은 무각(athecate) 외편모류로 구분하였다. 각 그룹들 사이의 다변량 상관관계 분석은 각 그룹들의 정점에 따른 수심별 생물량 값을 이용하여 SAS package(ver. 8.1)로 분석하였다.

3. 결 과

엽록소-a 농도

엽록소-a 농도는 모든 정점에서 $0.518 \mu\text{g l}^{-1}$ 이하의 농도를 보였다(Fig. 2). 엽록소 최대층은 각 정점별로 서로 다른 깊이에서 나타났으며, 저위도에서 고위도로 갈수록 깊어지는 경향을 보였다. 북적도 반류대에 위치한 정점 N5-N8에서는 표층 혼합층에서 엽록소 농도가 높게 분포하였다. 정점 N10 이북의 고위도 수역에서는 엽록소 최대층이 점차 깊어지면서 수온약층과 일치하는 양상을 보였다. 수심 120 m까지 합산한 수괴내 엽록소-a 농도는 정점 N6에서 $30.2 \text{ mg chl. m}^{-2}$ 로 가장 높게 나타났으며, N9를 제외하고 고위도로 갈수록 점차 낮아지는 경향을 보였다. 조사기간 동안 크기별 엽록소-a 농도 중 극미소 엽록소-a 농도는 전체 엽록소-a 농도의 평균 89%를 차지하였으며, 북적도 반류대의 정점 N5-N9에서는 평균 82%, 정점 N15를 제외한 북적도 해류대에 위치한 정점에서는 평균 92% 이상의 높은 우점률을 보였다.

부유 원생동물의 현존량 분포

부유 원생동물은 종속영양 미소편모류(Heterotrophic nanoflagellates; HNF), 부유성 섬모충류(Ciliates), 종속영양 외편모류(Heterotrophic dinoflagellates; HDF), 방산충류(Radiolaria)로 구분하였다. 조사수역에서 종속영양 미소편모류는 대부분이 $2-5 \mu\text{m}$ 로 구성되어 있었다. 종속영양 미소편모류의 현존량은 $48-1,180 \text{ cells ml}^{-1}$ 로 분포하였으며, 평균 $455 \text{ cells ml}^{-1}$ 나타났(Fig. 3). 종속영양 미소편모류의 수직 분포는 표층 혼합층에서 비교적 높은 분포를 보였으며, 엽록소 최대층 하부로 내려갈수록 낮게 분포하는 경향을 보였다. 정점별 분포는 정점 N5와 N6, 그리고 정점 N11에서 비교적 높게 분포하였으며, 정점 N13, N14, N17에서 낮은 분포를 보였다. 부유 섬모충류의 현존량은 $0.07-3.2 \text{ cells ml}^{-1}$ 로 분포하였으며, 평균 $0.8 \text{ cells ml}^{-1}$ 로 나타났(Fig. 3). 부유 섬모충류의 수직 분포는 정점 N5-N7의 표층 혼합층 부근에서 높은 분포를 보였으나, 고위도 수역으로 갈수록 엽록소 최대층 부근에서 높게 나

타났다. 정점별 분포 특성은 저위도 수역인 정점 N6에서 가장 높은 분포를 보였고, 고위도 수역인 정점 N17에서 가장 낮은 현존량을 보였다. 조사수역의 부유 섬모충류 그룹중 가장 우점하여 나타난 그룹은 빈모 섬모충류로, $0.06-2.9 \text{ cells ml}^{-1}$ 로 분포하였으며, 현존량은 정점 N16에서 가장 높게 나타났다. 조사수역에서 관찰된 빈모 섬모충류의 대부분은 *Strombidium* spp., *Strobilidium* spp., *Tontonia* spp. 등으로 구성되었다. 또한 유종 섬모충류 그룹은 $0.2 \text{ cells ml}^{-1}$ 이하의 낮은 현존량 분포를 보였으며, 정점 N7에서 가장 높게 나타났다. 유종 섬모충류의 종조성은 열대 해역에서 일반적으로 분포하고 있는 투명 피각을 갖는 *Rabdonella*, *Proplectella*, *Dadayiella*, *Petalotricha*, *Epiplocylis*, *Amphorella*, *Steenstrupiella*, *Eutintinus*, *Xystonellopsis*, *Undella*, *Dictyocysta*, *Salpingella* 등으로 구성되었다. 그 외 전모류 그룹은 일부 수심에서 출현하였으나 $0.05 \text{ cells ml}^{-1}$ 이하의 낮은 현존량 값을 보였다. 또한 $20 \mu\text{m}$ 이하의 미소형 섬모충류는 대부분이 빈모 섬모충류 그룹으로 나타났으며, 이들의 현존량 분포는 $0.01-1.6 \text{ cells ml}^{-1}$ (평균 $0.4 \text{ cells ml}^{-1}$)로 전체 섬모충류 그룹중에서 평균 40-63%(평균 52%)를 차지하였다. 전체 섬모충류에 미소형 섬모충류의 기여율은 정점 N6에서 가장 높았고, 정점 N17에서 가장 낮았다. 미소형 빈모류의 대부분은 *Strombidium* spp.와 *Strobilidium* spp. 등이 주로 분포는 것으로 관찰되었다. 종속영양 외편모류의 현존량은 $2-62 \text{ cells ml}^{-1}$ 로 분포 하였으며, 평균 23 cells ml^{-1} 로 나타났다(Fig. 3). 종속영양 외편모류의 수직 분포는 종속영양 미소편모류 및 섬모충류와 유사하게 저위도 정점에서는 표층 혼합층에서 높은 분포를 보였으며, 고위도로 갈수록 엽록소 최대층에서 높은 분포를 보였다. 정점별로는 정점 N5와 N6에서 가장 높은 분포를 보였으며, 용승 현상이 나타난 정점 N9와 정점 N15에서도 다소 높게 나타났다. 종속영양 외편모류의 현존량은 유각 외편모류에 비해 무각 외편모류에 의해 높은 분포를 보였으며, 무각 외편모류의 대부분은 $20 \mu\text{m}$ 이하의 미소형 종속영양 외편모류인 것으로 관찰되었다. 무각 외편모류의 대부분은 *Gymnodinium* spp.와 *Gyrodinium* spp.로 구성되어 있으며, 유각 외편모류의 대부분은 *Protoperidinium* spp.로 구성되었다. 그러나 정점 N15의 80 m와 N16의 50 m의 수심에서 유각 외편모류인 *Protoperidinium* sp.의 높은 현존량은 특이할 만한 현상으로 관찰되었다. 또한 방산충류는 열대와 아열대 해역에서 폭넓게 출현하는 그룹으로 대부분이 혼합영양으로 구성되어 있다. 이들은 박테리아 식자, 초식자, 잡식자, 유기 쇄설물식자등으로 다양한 영양 방식을 취한다. 해양 표영생태계에서 다양한 종들이 출현하였지만, 조사수역에서 방산충류의 현존량은 50 cells l^{-1} 이하의 낮은 분포를 보여, 종속영양 원생동물 중에서 중요하

Fig. 3. Depth distribution of abundance of heterotrophic nanoflagellates, ciliates and heterotrophic dinoflagellates along a latitudinal transect in the study area (Units: cells m^{-1}).

지 않은 그룹으로 나타났다.

부유 원생동물의 군집구조

수심 120 m까지 합산한 종속영양 미소편모류의 생물량은 $88.7\text{--}208.3 \text{ mgC m}^{-2}$ (평균 120.4 mgC m^{-2})로 분포하였으며, 종속영양 미소편모류는 부유 원생동물의 10-22%를 차지하여 평균 15%를 기여하는 것으로 나타났다(Fig.

4; Fig. 6). 부유 원생동물에 종속영양 미소편모류의 기여율은 종속영양 미소편모류의 생물량이 가장 높았던 정점 N5에서 가장 높게 나타났다. 섬모충류의 탄소량은 $123.6\text{--}393.0 \text{ mgC m}^{-2}$ (평균 208.2 mgC m^{-2})로 분포하였으며, 전체 부유 원생동물의 15-40%를 차지하여, 평균 25%를 차지하였다(Fig. 4; Fig. 6). 섬모충류중 빈모 섬모충류의

Fig. 4. Carbon biomass of heterotrophic nanoflagellates, ciliates and heterotrophic dinoflagellates along a latitudinal transect in the study area.

생물량은 62-90%를 차지하는 것으로 나타났으며, 정점 N6에서 가장 높은 기여율을 보였다. 유종 섬모충류는 섬모충류 생물량의 0.7-13%를 차지하였으며, 정점 N7에서 가장 높은 기여율을 보였다. 모든 정점에서 빈모 섬모충류는 유종 섬모충류에 비해 평균 8배 이상의 높은 생물량 분포를 보였다. 종속영양 와편모류의 생물량은 407.2-607.6 mgC m⁻²(평균 480.4 mgC m⁻²)로 분포하였다(Fig. 4; Fig. 6). 이들은 전체 부유 원생동물에 55-65%를 차지하며, 평균 60%를 차지하여 부유 원생동물중 가장 우점하는 그룹으로 나타났다. 그중 무각 종속영양 와편모류는 58% 이상 우점하였다. 정점 N16에서 유각 종속영양 와편모류가 부유 원생동물의 10% 이상 우점한 것을 제외한다면, 조사 기간 동안 출현한 무각 종속영양 와편모류는 유각 종속영양 와편모류의 생물량에 비해 20배 이상 높은

것으로 나타났다. 그 외 방산충류의 생물량은 6.2-21.5 mgC m⁻²(평균 11.7 mgC m⁻²)로 분포하였으며, 부유 원생동물의 평균 1.5%를 차지하였다(Fig. 4; Fig. 6). 종속영양 미소편모류, 섬모충류, 종속영양 와편모류와 방산충류를 포함하는 수심별 부유 원생동물의 생물량은 0.47-18 $\mu\text{gC l}^{-1}$ (평균 5.8 $\mu\text{gC l}^{-1}$)로 분포하였다(Fig. 5). 부유 원생동물 생물량의 수직 분포는 정점 N5-N10에서는 표층 혼합층 부근에서 높게 나타났으며, 고위도 수역으로 갈수록 엽록소 최대층의 깊이와 일치하는 양상을 보였다. 수심 120 m까지 합산한 수괴내 부유 원생동물의 생물량은 635.3-1077.3 mgC m⁻²(평균 810 mgC m⁻²)로 나타났다(Fig. 5). 전체 부유 원생동물의 생물량은 북적도 반류대에 위치한 정점 N5, 정점 N6과 정점 N9에서 가장 높게 분포하였으며, 북적도 해류대에 위치한 정점 N17에서 가장 낮

Fig. 5. Vertical distribution of planktonic protists biomass along a latitudinal transect in the study area (Units: $\mu\text{gC l}^{-1}$).

Fig. 6. Carbon biomass of planktonic protists along a latitudinal transect in the study area. (A) is cumulative carbon biomass, (B) is relative percent of protists group and (C) is cumulative of protists size group.

Table 1. Pearson's correlation coefficients between heterotrophic protists and phytoplankton.

	TC	NC	PC	HNF	Ciliates	HDF	Radiolaria	Nanoprotists	Microprotists
NC	0.688***								
PC	0.981***	0.536***							
HNF	0.336**	0.080	0.368***						
Ciliates	0.547***	0.239	0.573***	0.524***					
HDF	0.460***	0.301**	0.488***	0.720***	0.629***				
Radiolaria	0.335***	0.228	0.330**	0.294**	0.232	0.212			
Nanoprotists	0.435***	0.140	0.469***	0.823***	0.635***	0.971***	0.243**		
Microprotists	0.579***	0.288**	0.597***	0.549***	0.940***	0.687***	0.295**	0.638***	
Protists	0.528***	0.208	0.559***	0.798***	0.806***	0.956***	0.284**	0.951***	0.830***

Note: Significant correlation were defined as ***P<0.0001, **P<0.001 (TC, Total chlorophyll-a; NC, Net-nano chlorophyll-a (>2 μ m); PC, Pico chlorophyll-a(<2 μ m); HNF, Heterotrophic nanoflagellates; HDF, Heterotrophic dinoflagellates; Nanoprotists, HNF + <20 μ m ciliates + <20 μ m HDF; n=121).

은 값을 보였다.

부유 원생동물과 식물플랑크톤의 관계

미세생물 그룹들간의 상호관계를 파악하기 위하여 부유 원생동물의 각 그룹과 크기별 엽록소-a 농도 사이에 상관관계를 분석하였다(Table 1). 전체 부유 원생동물의 생물량과 엽록소-a 농도 사이에는 높은 상관관계를 보였으며 ($R=0.53$, $p<0.0001$), 부유 원생동물의 각 그룹 및 크기별 군집구조와 엽록소-a 농도의 크기 사이에도 높은 상관관계를 보였다. 중속영양 미소편모류와 섬모충류는 극미소 엽록소-a와 높은 상관관계를 보였으며, 중속영양 외편모류는 2 μ m 이상의 엽록소-a 및 극미소 엽록소-a와 상관성이 높은 것으로 나타났다. 방산충류는 극미소 엽록소-a와 상관성이 있음을 보여주었다. 20 μ m 이하의 미소형 원생동물은 극미소 엽록소-a 농도와 높은 상관관계를 보였으며, 20 μ m 이상의 소형 원생동물은 극미소 엽록소-a 및 2 μ m 이상의 엽록소-a와 모두 상관성이 있는 것으로 나타났다. 또한 원생동물 군집들 사이에도 높은 상관관계를 보였다.

4. 토 의

북동적도 태평양 수역은 전형적인 빈영양 수역으로 해류의 특성에 따라 수괴가 구분되며, 이로 인하여 복잡한 물리 화학적인 환경을 형성한다(Pickard and Emery 1982). 특히 활발한 해류 유동과 주기적인 용승 현상으로 인하여 수직혼합이 강하게 형성되는 적도 태평양 인근 수역과 수괴의 혼합이 약한 성층화된 북태평양 환류지역의 안정된 수괴와는 다른 특성을 갖고 있으며, 물리적 환경 변화에 의해 플랑크톤의 군집구조는 각기 다른 특성을 보인다(Wyrtki and Kilonsky 1984; Moum et al. 1989; Brown and Landry 2003). 북동 태평양수역에서 이전에 수행된 KODOS 조사에 의하면, 북적도 해류(NEC)와 북적도 반류(NECC)의 경계면에 위치한 8°N-10°N 사이에서

국지적인 발산이 형성되며, 이로 인하여 수직 혼합층이 얇아지고, 영양염이 풍부한 물이 표층으로 용승되어 그 주변 수역에 생물 생산력을 강화시킨다(Hyun et al. 1998; 해양수산부 1999, 2003). 또한 북적도 해류대에 위치한 고위도 수역에서는 계절적인 수온약층을 형성하여 수온약층이 깊고 뚜렷한 성층화된 수괴를 형성하며, 영양염이 낮은 전형적인 빈영양 해역의 특성을 나타낸다(Son et al. 2001; 해양수산부 2003). 본 조사기간 동안 북동 태평양 수역은 북적도 반류와 북적도 해류가 만나는 9°N에서 용승 현상이 발생하여 조사수역의 수괴는 물리, 화학적인 특성에 차이를 보였으며, 식물플랑크톤의 생물량과 군집은 수괴에 따라 다른 특성을 보였다(해양수산부 2003). 이와 같은 환경 특성에 따라 조사기간 동안 출현한 부유 원생동물의 생물량은 저위도 수역인 정점 N5-N9에서 가장 높게 분포하였으며, 정점 N9 이북의 고위도로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다. 따라서 북적도 태평양의 부유 원생동물의 생물량은 표층 혼합층이 깊고, 영양염이 풍부한 적도 부근의 저위도 수역에서 높게 분포하며, 성층화가 뚜렷하게 형성된 빈영양 해역의 고위도 수역으로 갈수록 점차 생물량이 낮게 분포하여 북동 태평양에서 이전에 조사된 식물플랑크톤과 원생동물 그룹의 분포와 유사한 경향을 보였다(Peña et al. 1990; Chavez et al. 1996; Landry et al. 1996; Liu et al. 1996; Brown and Landry 2003). 또한 조사수역은 1998년부터 2000년까지의 조사를 통해 물리 화학적 요인에 의해 미세생물 군집이 변화를 보이는 수역으로 나타났으며, 1998년 조사에서 원생동물의 생물량은 적도 발산이 형성된 8°N를 중심으로 저위도 수역으로 갈수록 높았고, 고위도 수역으로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다(Yang et al. 2004). 본 조사 수역과 동일한 수역에서 이제까지의 조사를 통해 북동 태평양 수역의 부유 원생동물의 생물량 분포는 물리적인 수괴 특성에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다(해양수산부 1998, 1999, 2000).

조사기간 동안 부유 원생동물 군집은 종속영양 미소 편모류, 섬모충류, 종속영양 와편모류와 방산충류의 4그룹으로 구분하였으며, 그 중 종속영양 와편모류는 전체 원생동물의 60%를 차지하여 가장 우점하는 그룹으로 나타났다. 종속영양 와편모류의 현존량은 조사수역에서 1998년에 조사된 값에 비해 다소 높게 나타났으나(Table 2), 이전의 북동 적도 태평양 수역에서 조사된 결과와 유사한 양상을 보였다(Chavez *et al.* 1996; Vørs *et al.* 1997). 종속영양 와편모류의 생물량 분포는 북적도 반류대에 위치한 저위도 정점에서 높았으며, 정점 N15를 제외하고는 북적도 해

류대에 위치한 고위도 정점으로 갈수록 낮게 나타났다. 정점 N15에서 종속영양 와편모류의 비교적 높은 분포는 이 정점에서 intrathermocline eddy로 인한 국지적인 용승 현상이 발생하여 규조류의 농도가 높게 나타난 것과 관련이 있는 것으로 생각된다(해양수산부 2003). 종속영양 와편모류의 다양한 포식행동은 해양환경에서 식물플랑크톤의 섭식자로서 특히 중요하며, 특히 외해역의 원생동물중에서 중요한 역할을 하는 것으로 보고되었다(Sherr *et al.* 1997; Garrison *et al.* 1998; Levinsen *et al.* 1999). 1998년 조사에서도 종속영양 와편모류의 생물량은 전체 원생동물

Table 2. Comparisons of abundance and carbon biomass of planktonic protists reported in the equatorial Pacific Ocean.

Region and protists	Month of year	Abundance (cells ml ⁻¹)	Biomass (μgC l ⁻¹)	Reference
Equatorial Pacific (0°, 140°W)				
<20 um flagellates	February-April	2400	6	Verity <i>et al.</i> (1996)
Dinoflagellates		24	1.3	
Ciliates		0.06	0.08	
<20 um flagellates	August-October	1700	5.9	
Dinoflagellates		29	1.8	
Ciliates		0.09	0.16	
Central and eastern tropical Pacific (12°N-10°S, 95°W, 110°W, 125°W, 140°W and 170°W)				
Heterotrophic flagellates	Spring (Survey I)	647 ± 311	1.7 ± 1.3	Chavez <i>et al.</i> (1996)
Heterotrophic dinoflagellates		41 ± 13	2.3 ± 2.8	
Aplastic ciliates		3.0 ± 2.6	1.5 ± 2.0	
Heterotrophic flagellates	Fall (Survey II)	772 ± 298	1.5 ± 0.7	
Heterotrophic dinoflagellates		59 ± 20	3.1 ± 0.5	
Aplastic ciliates		2.1 ± 2.6	1.3 ± 1.4	
Equatorial Pacific (10°N-8°S, 110°W; 8°S-12°N, 125°W)				
Heterotrophic flagellates	Spring	559 ± 249	1.4 ± 0.5	Vørs <i>et al.</i> (1997)
Chanoflagellates		25 ± 15	0.1 ± 0.1	
Heterotrophic dinoflagellates		41 ± 12	3.0 ± 1.5	
Ciliates		4 ± 3	1.0 ± 0.7	
Equatorial Pacific (5°N-9°N, 110°W)				
Heterotrophic flagellates	November, 1988	6-110		Chavez <i>et al.</i> (1990)
Chanoflagellates		0-6		
Heterotrophic dinoflagellates		11-40		
Ciliates		-		
Northequatorial Pacific (5°N-11°N, 130°30'W)				
Heterotrophic flagellates	July, 1998	28-465	0.06-1.1	Yang <i>et al.</i> (2003)
Heterotrophic dinoflagellates		2-46	0.3-4.0	
Ciliates		0.01-1.7	0.03-2.9	
Northequatorial Pacific (5°N-17°N, 131°30'W)				
Heterotrophic flagellates	July, 2003	48-1180	0.09-3.1	This study
Heterotrophic dinoflagellates		2-62	0.3-8.2	
Ciliates		0.07-3.2	0.09-5.5	

군집의 50% 이상을 차지하는 것으로 나타났으며, 다른 북동 적도 태평양의 조사에서도 종속영양 와편모류는 부유 원생동물의 50% 이상을 차지하는 것으로 나타나 본 조사의 결과와 일치하는 경향을 보였다(Chavez *et al.* 1996; Vørs *et al.* 1997). 부유 원생동물중 섬모충류는 종속영양 와편모류 다음으로 중요한 그룹으로 나타났다. 부유 섬모충류의 현존량 분포는 북동 태평양 수역에서 1998년에 조사된 현존량에 비해 다소 높게 나타났으나 적도 태평양 수역에서 조사된 2-3 cells mL^{-1} (Chavez *et al.* 1996)와 4 cells mL^{-1} (Vørs *et al.* 1997)에 비해 낮은 값을 보였다 (Table 2). 섬모충류는 전체 원생동물의 평균 24%를 차지하였으며 북적도 해류대에 위치한 고위도 정점에서 비교적 높은 기여율을 보였다. 대부분 해양에서 부유성 섬모충류는 유종 섬모충류에 비해 빈모 섬모충류 그룹에 의해 2배에서 10배까지 더 높은 생물량 분포를 보인다(Pierce and Turner 1992). 본 조사에서도 빈모 섬모충류의 생물량은 유종 섬모충류에 비해 평균 8배 이상 높은 것으로 나타났다. 부유 원생동물중 종속영양 미소편모류는 부유 원생동물의 평균 15%를 차지하였으며, 정점 N5에서 가장 높은 현존량과 우점율을 보였다. 종속영양 미소편모류는 극미소 플랑크톤의 중요한 섭식자로서, 극미소 플랑크톤의 현존량 분포와 일치하여 나타난다(Christaki *et al.* 2001). 정점 N5에서 종속영양 미소편모류의 높은 분포는 이 정점에서 박테리아와 *Synechococcus*의 높은 현존량 분포와 관련이 있는 것으로 사료된다(해양수산부 2003). 본 조사수역에서 관찰된 종속영양 미소편모류의 현존량은 1998년에 동일한 수역에서 조사된 종속영양 미소편모류에 비해 2배 이상 높았으나 북태평양 수역에서 이전에 조사된 값과 유사한 결과를 보였다(Chavez *et al.* 1996; Vørs *et al.* 1997). 이상의 각각의 그룹에서 제시된 것과 같이 부유 원생동물의 생물량은 북적도 반류대에 위치한 저위도 수역에서 대부분 높게 분포 하였으며, 고위도로 갈수록 낮은 분포를 보였다. 그러나 정점 N9에서의 높은 생물량은 용승현상으로 인한 영양염 농도의 증가와 이로 인한 식물플랑크톤의 높은 분포와 연관이 있는 것으로 생각된다. 또한 원생동물의 수직적 분포 특성은 저위도 수역에서는 표층 혼합층에서 높게 나타났으며, 고위도로 갈수록 엽록소 최대층에서 비교적 높은 분포를 보였다. 이와 같은 결과는 부유 원생동물의 생물량 분포는 일차적으로 식물플랑크톤의 생물량과 연관이 있는 것으로 생각된다. 빈영양 수역에서 종속영양 원생동물의 생물량은 엽록소-a 농도와 밀접한 관련을 갖는 것으로 보고되었다(Beers and Stewart 1971; Burkill *et al.* 1995; Dolan and Marrase 1995; Landry *et al.* 1995; Garrison *et al.* 1998). 조사수역에서 두 그룹 사이의 상관관계 분석 결과 부유 원생동물과 식물플랑크톤 생물량 사이에 상관성이 높은 것으로 나타났

다(Table 1). 또한 부유 원생동물의 60% 이상을 차지하는 미소형 원생동물과 극미소 엽록소-a 사이의 높은 상관관계, 소형 원생동물과 미소형 및 소형 엽록소-a(>2 μm) 사이의 높은 상관관계, 종속영양 와편모류와 미소형 및 소형 엽록소-a(>2 μm) 사이의 높은 상관관계, 종속영양 미소편모류와 극미소 엽록소-a 사이의 높은 상관 관계 등은 이들 그룹들 사이에 밀접한 관계가 있음을 제시한다. 특히 북태평양 수역에서 극미소 식물플랑크톤의 성장률은 미소형 원생동물의 섭식에 의해 크게 조절되어지며, 표영 생태계 내에서 생산과 소비는 균형을 이루고 있는 것으로 나타났다(Verity *et al.* 1996). 따라서 본 조사수역에서 부유 원생동물의 크기별 군집구조는 식물플랑크톤의 크기별 분포 양상과 유사한 경향을 보였으며, 이 결과는 부유 원생동물과 식물플랑크톤 사이에 피식-포식자의 관계가 있음을 암시하며, 피식-포식의 관계가 미세생물 먹이망에서 중요한 조절 요인이 될 수 있음을 시사한다. 본 조사에서 일차적으로 부유 원생동물의 생물량 분포와 군집구조를 살펴볼 때, 부유 원생동물의 생물량과 크기별 군집구조는 위도에 따라 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 각 수괴의 특성에 의해 일차생산자의 생물량과 크기별 분포 양상이 다르게 나타났기 때문에 식물플랑크톤을 먹이로 이용하는 부유 원생동물의 생물량과 크기별 군집구조도 이들과 상당히 일치하는 양상을 나타낸 것으로 사료된다.

북동 태평양과 같이 극미소 식물플랑크톤에 의해 우점하는 수역에서 부유 원생동물은 다른 수역에 비하여 특히 중요하며, 표층에서 식물플랑크톤에 의해 생산된 탄소의 많은 부분이 바닥으로 침강되는 것 보다는 표영 생태계의 미세생물 먹이망의 탄소순환에 중요한 기여를 한다(Stoecker *et al.* 1996; Hall *et al.* 1999). 이와 같이 극미소 식물플랑크톤이 우점하는 빈영양 수역에서 소형 동물플랑크톤은 일차 생산자의 가장 중요한 소비자로서 태평양 열대수역에서 소형 동물플랑크톤은 일일 일차 생산력의 70%까지 소비하며(Beers and Stewart 1971), 적도 태평양에서는 일차 생산력의 70-133%까지 소비하며(Verity *et al.* 1996), 1996년의 엘리노 기간에 적도 태평양 수역에서 식물플랑크톤 생산력의 평균 69%를 제거하였다(Landry *et al.* 2003). 또한 조사수역과 동일한 수역에서 1998년의 라니냐 시기에 조사된 부유 원생동물은 식물플랑크톤의 85-140%까지 제거하는 것으로 나타났다(Yang *et al.* 1998). 이러한 결과는 조사수역의 표영 생태계에서 원생동물은 먹이 공급의 변화에 빠르게 반응하기 때문에 생산과 소비 사이에 균형 있는 관계가 유지되는 것으로 생각된다. 그러나 조사기간 동안 식물플랑크톤에 대한 원생동물의 섭식관계가 조사되지 않았기 때문에 원생동물의 중요성에 대하여 정확하게 논의할 수는 없다. 그러나 1998년의 라니냐 기간에 수행된 자료에 근거를 두고(Yang *et al.* 2003),

부유 원생동물의 생물량 및 크기별 군집구조와 식물플랑크톤 크기별 생물량 사이의 밀접한 관계에 대하여 고려해 볼 때, 북동 태평양 수역의 표영 생태계에서 미세생물 그룹들은 생산과 소비사이에 강한 coupling을 형성하여 부유 원생동물은 미세생물 먹이망 내에서 유기 탄소의 전달자로서 중요한 역할을 할 것이다. 그러나 미세생물 먹이망 내에서 부유 원생동물의 탄소의 이용률과 전달률은 수괴의 특성에 따라 다르게 나타나기 때문에 부유 원생동물의 역할도 수괴의 특성에 따라 차이가 있을 것으로 사료된다.

또한 본 조사수역은 1996년부터 엘니뇨와 라니냐 등의 이상 기후 현상으로 인하여 많은 환경 변화를 보이는 해양 탄소 순환과 관련된 중요한 수역이다. 따라서 표영 생태계에서 부유 원생동물에 관한 지속적인 연구를 통해 장기적인 미세생물 군집의 생물량 변화와 군집의 우점도, 그리고 식물플랑크톤에 대한 원생동물의 섭식압에 관한 연구가 우선적으로 조사된다면, 향후 전 지구 환경 변화에 따른 북태평양 수역에서 해양 생태계의 변화 양상과 탄소 순환을 이해하는데 중요한 자료로서 활용될 것이다.

사 사

본 논문을 세밀하게 심사해주신 두분의 심사위원회 진심으로 감사드립니다. 또한 본 연구를 수행하는데 있어 현장 작업과 시료처리에 도움을 준 김태하 씨와 이영주 씨, 그리고 온누리호 선장님 이하 전 승조원 여러분과 심해저자원연구센터 연구원에게도 감사드립니다. 본 연구는 해양수산부 R&D 연구과제인 '심해저 광물자원 탐사사업'의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

- 해양수산부. 1998. '98 심해저 광물자원 탐사 보고서(1). 해양수산부 보고서, 1209 p.
- 해양수산부. 1999. '99 심해저 광물자원 탐사 보고서(1). 해양수산부 보고서, 780 p.
- 해양수산부. 2000. 2000 심해저 광물자원 탐사 보고서(1). 해양수산부 보고서, 594 p.
- 해양수산부. 2003. 2003 심해저 광물자원 탐사 보고서(1). 해양수산부 보고서, 770 p.
- Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, F.S. Gray, and L.A. Meyer-Reil. 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 10, 257-263.
- Beers, J.R. and G.L. Stewart. 1971. Microzooplankton in the plankton community of the upper waters of the Eastern Tropical Pacific. *Deep-Sea Res.*, 18, 861-883.
- Betzer, P.R., W.J. Showers, E.A. Laws, C.D. Winn, G.R. DiTullio, and P.M. Kroopnick. 1984. Primary productivity and particle fluxes on a transect of the equator at 153°W in the Pacific Ocean. *Deep-Sea Res.*, 31, 1-11.
- Børsheim, K.Y. and G. Bratbak. 1987. Cell volume to cell carbon conversion factors for a bacterivorous *Monas* sp. enriched from sea waters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 36, 171-175.
- Brown, S.L. and M.R. Landry. 2003. Microbial community abundance and biomass along a 180° transect in the equatorial Pacific during an El niño-Southern oscillation cold phase. *J. Geophys. Res.*, 108, 8139.
- Burkill, P.H., E.S. Edwards, and M.A. Sleight. 1995. Microzooplankton and their role in controlling phytoplankton growth in the marginal ice zone of the Bellingshausen Sea. *Deep-Sea Res. II*, 42, 1277-1290.
- Chavez, F.P. and R.T. Barber. 1987. An estimate of new production in the Equatorial Pacific. *Deep-Sea Res.*, 34, 1229-1243.
- Chavez, F.P., K.R. Buck, S.K. Service, J. Newton, and R.T. Barber. 1996. Phytoplankton variability in the central and eastern tropical Pacific. *Deep-Sea Res. II*, 43, 835-870.
- Christaki, U., A. Giannakourou, F. Wambeke, and G. Gregori. 2001. Nanoflagellates predation on auto- and heterotrophic picoplankton in the oligotrophic Mediterranean Sea. *J. Plankton Res.*, 23, 1297-1310.
- Dolan, J.R. and C. Marrase. 1995. Planktonic ciliates distribution relative to a deep chlorophyll maximum: Catalan Sea, N.W. Mediterranean, June 1993. *Deep-Sea Res.*, 42, 1965-1987.
- Edler, L. 1979. Phytoplankton and chlorophyll recommendations for biological studies in the Baltic Sea. *Baltic Marine Biologists*, p. 13-25.
- Garrison, D.L., M.M. Gowing, and M.P. Hughes. 1998. Nano- and microplankton in the northern Arabian sea during the southwest Monsoon, August-September, 1995 A US-JGOFS study. *Deep-Sea Res. II*, 45, 2269-2299.
- Hall, J.A., M.R. James, and J.M. Bradford-Grieve. 1999. Structure and dynamics of the pelagic microbial food web of the subtropical convergence region east of New Zealand. *Aqua. Microb. Ecol.*, 20, 95-105.
- Hyun, J.H., J.K. Choi, E.J. Yang, and K.H. Kim. 1998. Biomass and productivity of bacterioplankton related to surface water divergence in the Northeast Equatorial Pacific Ocean. *J. Microbiol.*, 36, 151-158.
- Landry, M.R., J. Constantinou, and J. Kirshtein. 1995. Microzooplankton grazing in the central equatorial Pacific during February and August, 1992. *Deep-Sea Res. II*, 42, 657-671.
- Landry, M.R., J. Kirshtein, and J. Constantinou. 1996.

- Abundance and distribution of picoplankton populations in the central equatorial Pacific from 12°N to 12°S, 140°W. *Deep-Sea Res. II*, 43, 871-890.
- Landry, M.R., S.L. Brown, J. Neveux, D. Dupouy, J. Blanchot, S. Christensen, and R.R. Bidigare. 2003. Phytoplankton growth and microzooplankton grazing in high-nutrient, low-chlorophyll waters of the equatorial Pacific: Community and taxon-specific rate assessment from pigment and flow cytometric analysis. *J. Geophys. Res.*, 108, 8142.
- Levinson, H., T.G. Nielsen, and B.W. Hansen. 1999. Plankton community structure and carbon cycling on the western coast of Greenland during the stratified summer situation. II. Heterotrophic dinoflagellates and ciliates. *Aquat. Microb. Ecol.*, 16, 217-232.
- Liu, D., G.A. Fryxell, and I. Kaczmarek. 1996. El Niño (1992) in the equatorial Pacific: low biomass with a few dominating in the microphytoplankton. *J. Plankton Res.*, 18, 1167-1184.
- Menden-Deuer, S. and E.J. Lessard. 2000. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms and other protist plankton. *Limnol. Oceanogr.*, 45, 569-579.
- Michaels, A.F., D.A. Caron, N.R. Swanberg, F.A. Howse, and C.M. Michaels. 1995. Planktonic sarcodines (Acantharia, Radiolaria, Foraminifera) in surface waters near Bermuda: abundance, biomass and vertical flux. *J. Plankton Res.*, 17, 131-163.
- Moum, J.N., D.R. Caldwell, and C.A. Paulson. 1989. Mixing in the Equatorial surface layer and thermocline. *J. Geophys. Res.*, 94, 2005-2021.
- Peña, M.A., M.R. Lewis, and W.G. Harrison. 1990. Primary productivity and size structure of phytoplankton biomass on a transect of the equator at 135°W in the Pacific Ocean. *Deep-Sea Res.*, 37, 295-315.
- Pickard, G.L. and W.J. Emery. 1982. Descriptive physical oceanography, 4th ed. Pergamon Press. 249 p.
- Pierce, R.W. and J.F. Turner. 1992. Ecology of planktonic ciliates in marine food webs. *Rev. Aquat. Sci.*, 6, 139-181.
- Porter, K.G. and Y.S. Feig. 1980. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.*, 25, 943-948.
- Putt, M. and D.K. Stoecker. 1989. An experimentally determined carbon: Volume ratio for marine "oligotrichous" ciliates from estuarine and coastal waters. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 1097-1103.
- Rassoulzadegan, F., M. Laval-Peuto, and R.W. Sheldon. 1988. Partitioning of the food ration of marine ciliates between pico- and nanoplankton. *Hydrobiologia*, 159, 75-88.
- Sheldon, R.W., P. Nival, and F. Rassoulzadegan. 1986. An experimental investigation of a flagellate-ciliate-copepod food chain with some observations relevant to the linear biomass hypothesis. *Limnol. Oceanogr.*, 31, 184-189.
- Sherr, E.B., B.F. Sherr, and G.A. Paffenhofer. 1986. Phagotrophic protozoa as food for metazoans: a 'missing' trophic link in marine pelagic food webs? *Mar. Microb. Food Webs*, 1, 61-80.
- Sherr, E.B. and B.F. Sherr. 1988. Role of microbes in pelagic food webs: a revised concept. *Limnol. Oceanogr.*, 33, 1225-1227.
- Sherr E.B., B.F. Sherr, and L. Fessenden. 1997. Heterotrophic protists in the central Arctic ocean. *Deep Sea Res. II*, 44, 1665-1682.
- Sieburth, J.McN., V. Smetacek, and J. Lenz. 1978. Pelagic ecosystem structure: heterotrophic components of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 1256-1263.
- Son, S.K., J.H. Hyun, C.K. Park, S.B. Chi, and K.H. Kim. 2001. Characteristics of chemical environment by changing temperature at the surface layer in the northeast Equatorial Pacific. *J. Kor. Soc. Mar. Environ. Eng.*, 4, 24-37.
- Stoecker, D.K. and J.M. Capuzzo. 1990. Predation on protozoa: its importance to zooplankton. *J. Plankton Res.*, 12, 892-908.
- Stoecker, D.K., D.E. Gustafson, P.G. Verity, and M.E. Sieracki. 1996. Micro- and meso- protozooplankton at 140°W in the equatorial Pacific: heterotrophs and mixotrophs. *Aquat. Microb. Ecol.*, 10, 273-282.
- Verity, P.G. and C. Langdon. 1984. Relationships between lorica volume, carbon, nitrogen and ATP content of tintinnids in Narragansett Bay. *J. Plankton Res.*, 6, 859-868.
- Verity, P.G., D.K. Stoecker, M.E. Sieracki, and J.R. Nelson. 1996. Microzooplankton grazing of primary production at 140°W in the Equatorial Pacific. *Deep-Sea Res. II*, 43, 1227-125.
- Vørs, N., K.R. Buck, F.P. Chavez, W. Eikrem, L.E. Hansen, J.B. Stergaard, and H.A. Thomsen. 1997. Nanoplankton of the equatorial Pacific with emphasis on the heterotrophic protists. *Deep-Sea Res. II*, 42, 585-602.
- Wyrski, K. and B. Kilonsky. 1984. Mean water and current structure during the Hawaii-to-Tahiti shuttle experiment. *J. Phys. Oceanogr.*, 14, 242-254.
- Yang, E.J., J.K. Choi, and J.H. Hyun. 2004. The distribution and structure of heterotrophic protists communities in the northeast equatorial Pacific Ocean. *Mar. Biol.*, In press.

Received Apr. 16, 2004

Accepted May 29, 2004