

## Article

## 마산만에서 부유원생동물의 연구

이원제<sup>1\*</sup> · 신경순<sup>2</sup> · 이재도<sup>3</sup>

<sup>1</sup>경남대학교 환경공학과  
(631-701) 경상남도 마산시 월영동 449  
<sup>2</sup>한국해양연구원 남해연구소  
(656-830) 경상남도 거제시 장목면 장목리 391  
<sup>3</sup>(주)월드이엔지 기술연구소 해양생물실  
(630-857) 경상남도 마산시 내서읍 중리 1127-22

## Studies on Marine Heterotrophic Protists in Masan Bay, Korea

Won Je Lee<sup>1\*</sup>, Kyungsoon Shin<sup>2</sup>, and Jae-Do Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering  
Kyungnam University, Masan 631-701, Korea

<sup>2</sup>South Sea Research Institute, KORDI  
Geoje 656-830, Korea

<sup>3</sup>R&D Centre, World ENG (Co., Ltd.)  
Masan 630-857, Korea

**Abstract :** In Korea the study of marine heterotrophic protists started in the late 1980s, and since the early 1990s many studies have been conducted in various marine environments. In this article, studies on the distribution and abundance of protists and the biotic interactions (bacteria-protists, phytoplankton-protists) conducted in Korean coastal waters are reviewed, and a field study is reported and discussed. The field study in Masan Bay was carried out from February 2004 to November 2005 at seven selected stations representative of the bay. During the study, the mean abundance of heterotrophic bacteria and the mean concentration of chlorophyll-*a* were  $2.1 \times 10^6$  cells mL<sup>-1</sup> and  $9.8 \mu\text{g L}^{-1}$ , respectively. Heterotrophic protists consisted of heterotrophic dinoflagellates, heterotrophic nanoflagellates (excluding dinoflagellates) and ciliates, and their abundances were means of  $7.9 \times 10^4$  cells L<sup>-1</sup>,  $1.2 \times 10^3$  cells mL<sup>-1</sup>, and  $4.0 \times 10^4$  cells L<sup>-1</sup>, respectively. Generally, the chlorophyll-*a* concentrations and the abundances of heterotrophic bacteria and protists were higher in the inner zone of the bay, where there are high concentrations of organic matters, than in the middle and outer zones. Using the grazing rates of heterotrophic nanoflagellates on bacteria previously reported in this area, it can be calculated that about 69% of bacterial production was removed by HNF grazing activity. About 24% of initial chlorophyll-*a* concentration was removed by microzooplankton grazing activity. In conclusion, this study suggests that in Masan Bay heterotrophic protists control the growth of bacteria and phytoplankton, and heterotrophic protists represent an important link of bacterial & microalgal biomass to higher trophic levels.

**Key words :** protists, microbial food web, metazoan food web, heterotrophic nanoflagellates, heterotrophic dinoflagellates, ciliates, heterotrophic bacteria, Masan Bay

\*Corresponding author. E-mail : wonje@kyungnam.ac.kr

## 1. 서 론

### 해양생물 먹이망 및 원생동물의 중요성

1970년대 초까지 수서생태계에는 식물플랑크톤이 후생동물(중형동물플랑크톤)에게 섭취되고 이들은 어류와 같은 큰 생물들에게 포식되는 단순한 먹이 사슬만 있는 것으로 알려져 왔고, 게다가 60  $\mu\text{m}$  이하의 작은 생물들은 부적절한 고정방법이나 채집방법으로 인해 중요성이 무시되어 왔다. 일찍이 Pomeroy(1974)는 기존 먹이망 모델이 실제 해양생태계 에너지 흐름의 작은 부분임을 인식하고 보완되어야 함을 제안하였다. 1970년대 후반 들어 형광현미경과 방사성 동위원소 등의 이용으로 박테리아와 원생동물 등의 작은 미생물이 정량화되고 생산력이 측정됨에 따라 미생물이 전체 플랑크톤 군집에서 상당한 생물량을 차지하고 있음이 밝혀졌다. 결과적으로 종속영양 박테리아와 원생동물을 후생생물 먹이망으로 연결(Sherr and Sherr 1988; Laybourn-Parry and Parry 2000)시켜 주는 미세생물 고리(microbial loop)라는 개념(Azam et al. 1983)이 등장하였다.

해수내의 용존 유기물(DOC, dissolved organic matter)의 대부분은 식물플랑크톤의 분비물로부터 기인하고 동물플랑크톤의 포식과정이나 배설물을 통해서도 해수로 유입된다(Epply et al. 1981; Bell and Kuparinen 1984; Small et al. 1989; Laybourn-Parry and Parry 2000). 또한 박테리아 생물량의 상당부분이 바이러스 감염에 의한 용균 현상을 통해서 용존 유기물로 전환될 수 있다(Bratbak et al. 1990). 이러한 용존 유기물의 대부분이 종속영양 박테리아에 의해 이용되고 종속영양 박테리아는 종속영양 편모류에 의해 섭취되고 이는 다시 섬모충류에 의해 섭취되는 일련의 과정(미세생물고리)을 통하여 다시 상위 영양단계로 전달되어 물질이 재순환된다. 다시 말하면 수서생태계에서 원생동물은 작은 크기의 조류(규조류, 편모류, 남조류)와 박테리아를 포식하는 것 외에 포식활동을 통해 탄소, 질소와 인 등의 재부기물화를 촉진시키므로써 영양염순환에서 중요한 역할을 한다(Stout 1980; Caron et al. 1985; Goldman et al. 1985; Andersson et al. 1986; Bloem et al. 1989). 또한 원생동물은 중형동물플랑크톤의 주먹이원으로 미세생물고리나 미세생물먹이망을 후생동물먹이망으로 연결시켜 주는 매개자 역할을 한다.

### 마산만에서 해양원생동물 연구

마산만에서 원생동물의 연구사례가 많지 않은 관계로 국내에서 이루어진 연구를 전반적으로 살펴보기로 하였다. 국내 해양원생동물의 연구는 섬모충류 연구로부터 시작되었다고 볼 수 있다. 연구사례를 살펴보면 1980년대 후반 들어 유충섬모충류(tintinnids)의 분류학적 연구가 처

음으로 진해만과 영일만(Yoo et al. 1988; Yoo and Kim 1990)에서 이루어졌으며 생태학적 연구는 마산만과 천수만(Yoo and Lee 1987; Jeong 1988)에서 이루어졌다. 1990년대 이후 국내 연근해에서 비교적 많은 분류 및 생태학적 연구(e.g. 심 등 1995a; 정 등 2000, 2002; 양과 최 2003; 김과 이 2003; Choi et al. 1995; Lee and Choi 2000; Lei et al. 2005a, 2005b; Jeong et al. 1997)가 꾸준히 이루어졌지만 마산만에서의 연구(e.g. Lee et al. 2002; Jeong et al. 2004)는 소수에 지나지 않았다.

종속영양 외편모류(e.g. *Noctiluca scintillans*)는 최근까지 식물플랑크톤 또는 동물플랑크톤에 포함되어 많은 연구가 이루어져 왔다(e.g. 한과 유 1983a, 1983b; 한국해양연구소 1998, 1999; Lee and Yoo 1990, 1991; Han et al. 1991). 국내에서 종속영양 외편모류라는 용어를 사용한 첫 연구는 1990년대 중반 국내 연안(마산만 포함)에서 종속영양 외편모류의 생태학적 연구를 실시한 박(1995)의 논문이 처음인 것으로 보인다. 1990년대 중반 이후부터는 정과 공동연구자들(e.g. 정 등 2000, 2002; Kim and Jeong 2004; Jeong et al. 2004)에 의해서 성장과 섭식에 관한 많은 연구가 이루어졌지만 마산만에서의 연구(Lee et al. 2002; Jeong et al. 2005; Kim and Jeong 2004)는 다소 빈약하다.

국내 종속영양 미소편모류 연구는 1990년대 초반에 경기만(이1993)에서 처음으로 시도되었던 것으로 보인다. 이후 만경 동진강지역에서 심 등(1995b)의 연구, 여름철 국내연안 7개 정점에서 수행한 Lee et al.(2002)의 연구, 경기만에서 양 등(2003)의 연구, 마산만에서는 이(2007)와 Park and Cho(2002)의 연구가 수행되었다. 이러한 연구들은 모두 생태학적 연구이었으며 분류학적인 연구는 강화도 갯벌에서 처음으로 Lee(2002)에 의해서 실시되었다.

위에 언급된 바와 같이 1990년 이후 원생동물 군집의 각 분류군에 대한 연구는 비교적 다양하게 수행되었지만 미세생물먹이망의 군집구조를 파악하려는 연구(양 등 2003; 양과 최 2003; 이 2005; Lee and Choi 2000; Lee et al. 2002)는 많지 않았다.

본 연구에서는 2004년부터 약 2년간 마산만에서 조사된 원생동물의 생물량을 보고하고 그 연구결과가 의미하는 바를 알아보며, 이러한 연구결과를 토대로 어떠한 연구가 진행되어야 할지 대해 간단히 논의하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

종속영양 박테리아와 원생동물 시료채취는 2004년 2월부터 2005년 10월까지 마산만 7개 정점 표층에서 이루어졌다(Fig. 1). 박테리아와 종속영양 미소편모류(외편모류를 제외한 모든 편모류 포함)의 생물량을 파악하기 위하

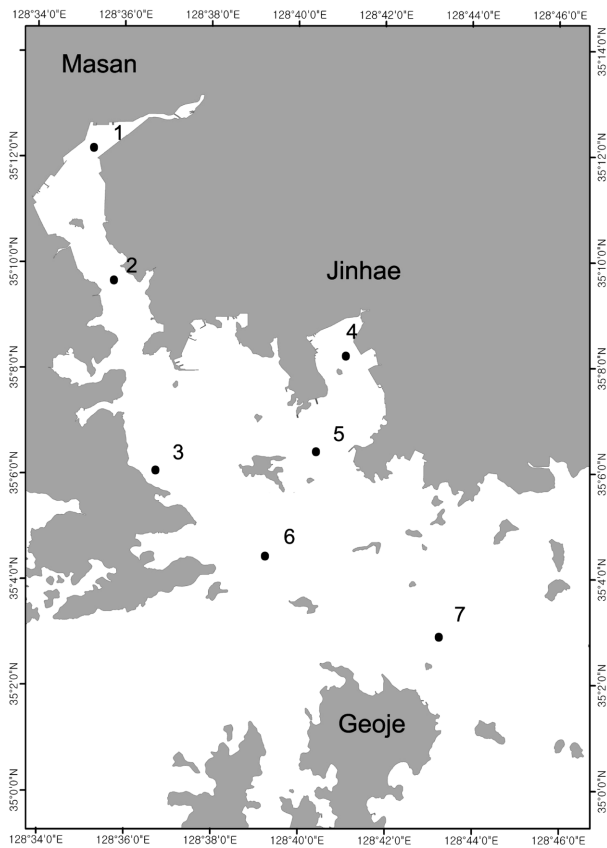


Fig. 1. Map showing sampling stations in Masan Bay.

여 해수를 채수하여 글루타르 알데하이드로 고정(최종농도 2%)하였다. 고정된 시료 2~5 mL를 0.22  $\mu\text{m}$  black filter로 여과하여 DAPI(최종농도 2~5  $\mu\text{g mL}^{-1}$ )로 염색한 후 형광현미경(Leica DMR 2500)하에서 크기를 측정하고 계수를 하였다. 섬모충류와 종속영양 외편모류의 생물량을 파악하기 위하여 포르말린으로 고정한 후 실험실로 운반하여 냉장상태에서 10~15 mL로 농축시켰다. 섬모충류는 Sedgwick-Rafter chamber(S-R chamber)를 이용하여 광학현미경하에서 크기를 측정하고 계수하였다. 종속영양 외편모류(HDNF)와 광합성 외편모류(Photosynthetic dinoflagellates, PDNF)를 구분하기 위하여 해수시료를 S-R chamber 안에서 DAPI(최종농도 5  $\mu\text{g mL}^{-1}$ )로 염색을 한 후 형광현미경하에서 크기를 측정하고 계수를 하였다. 광합성 섬모충류인 *Myrionecta rubra*(=*Mesodinium rubrum*)와 광합성 외편모류는 원생동물 생물량에서 제외되었다.

소형부유동물(원생생물)의 부유식물에 대한 섭식률을 측정하기 위해 희석방법(Dilution method)을 사용하였다(Landry and Hassett 1982). 우선 소형부유동물 시료를 구하기 위하여 해수를 200  $\mu\text{m}$  mesh로 여과시켜 주었고 0.2  $\mu\text{m}$  여과지로 여과된 해수(FSW)와 여과하지 않은 해

수(SW)의 희석비율(FSW:SW, 0:100%, 15:85%, 40:60%, 60:40%, 80:20%, 95:5%)에 따라 1.2 liter PC 병에 넣었다. 희석비율 95:5%는 원수의 엽록소 농도가 높게 나타날 때 만 사용하였다. 실험은 triplicate로 실시하였고 섭식률은 엽록소-a 농도의 변화(T0와 T24)로 측정하였다. 자연 상태에서 24시간 동안 배양을 한 후, 아세톤 방법(Parsons *et al.* 1984)을 이용하여 색소를 추출한 후 10 AU(Turner Design)를 사용하여 엽록소-a 농도를 측정하였다. 최종적으로 희석비율과 apparent phytoplankton growth rate와의 회귀 직선식을 이용하여 부유식물의 성장률과 소형부유동물의 섭식률을 구하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 종속영양 박테리아와 엽록소-a의 분포 및 상호관계

마산만에서 종속영양 박테리아 분포에 관한 연구로 Lee *et al.*(2002)는 여름철 속천항에서  $1.5\sim 5.8$ (평균  $3.9$ ) $\times 10^6$  cells  $\text{mL}^{-1}$ 의 현존량을 보고하였고 Park and Cho(2002)는 여름철 소모도 안쪽 지역에서 평균  $16\times 10^6$  cells  $\text{mL}^{-1}$ 의 높은 현존량을 보고하였다. 또한 이(2007)는 마산만내 옥계항에서 1년 동안 격주간 조사로  $0.7\sim 7.3$ (평균  $3.2$ ) $\times 10^6$  cells  $\text{mL}^{-1}$ 의 현존량을 보고하였다. 마산만과 인근지역인 거제 장목만에서는  $0.39\sim 1.88$ (평균  $1.08$ ) $\times 10^6$  cells  $\text{mL}^{-1}$ (미발표자료)의 현존량을 보였다. 본 연구에서는 종속영양 박테리아의 현존량이  $0.24\sim 8.9$ (평균  $2.1$ ) $\times 10^6$  cells  $\text{mL}^{-1}$ 로 나타났으며, 내만지역(정점 1, 2, 4)에서는 연 평균  $2.0\times 10^6$  cells  $\text{mL}^{-1}$  이상의 현존량을 보여 외쪽지역에 비해 더 높았다(Fig. 2). 마산만 외 다른 지역에서 박테리아 현존량은 경기만  $0.26\sim 5.4\times 10^6$  cells  $\text{mL}^{-1}$ (양과 최 2003; Lee and Choi 2000; Lee *et al.* 2002), 시화호  $1.6\sim 19.5\times 10^6$  cells  $\text{mL}^{-1}$ (Choi *et al.* 1999), 동해 유광대  $0.2\sim 1.8\times 10^6$  cells  $\text{mL}^{-1}$ (Cho *et al.* 1994), 독도 주변 해역에서  $0.1\sim 0.2\times 10^6$  cells  $\text{mL}^{-1}$ (Cho *et al.* 1998)와 새만금 수역에서  $0.10\sim 2.3\times 10^6$  cells  $\text{mL}^{-1}$ (미발표자료)이 보고되어 다양한 해양환경으로부터 계수된 박테리아 현존량의 범위가 상당히 넓게 나타났다. 가장 낮은 현존량은 독도주변해역과 연안지역 바깥쪽 정점들에서 나타나 빈영양성 특성

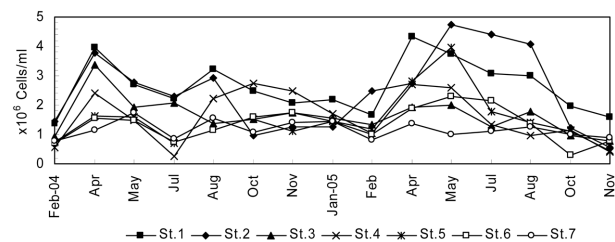


Fig. 2. Abundance of heterotrophic bacteria in Masan Bay.

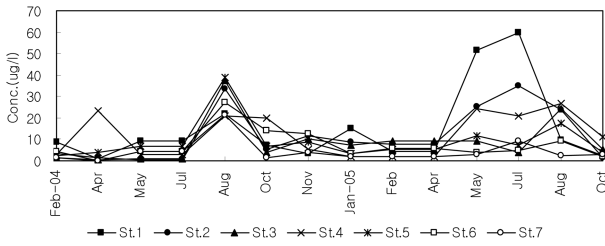


Fig. 3. Concentration of Chl-a in Masan Bay.

을 시사한 반면 오염이 심각한 마산만 내만 및 시화호 등에서는 높은 현존량을 보였다. 따라서 박테리아의 분포 양상은 일반적으로 유기물 오염 또는 환경의 영양상태와 연관성이 큰 것으로 나타났다.

중속영양 박테리아는 성장하기 위하여 식물플랑크톤에서 유래된 용존 유기물에 의존하는 관계로 일반적으로 박테리아와 엽록소-a 농도는 높은 상관관계를 보인다(e.g. Bird and Kalff 1984). 본 연구수역에서 조사기간 동안 총 엽록소-a 농도 분포는 0.20-59.8(평균 9.78)  $\mu\text{g L}^{-1}$ 이었다(Fig. 3). 정점 별 평균 엽록소-a 농도를 보면 정점 1, 2와 4에서는 10  $\mu\text{g L}^{-1}$  이상의 높은 농도를 보였으며 다른 정점에서는 10  $\mu\text{g L}^{-1}$  이하로 나타났다. 특히 정점 1(14.9  $\mu\text{g L}^{-1}$ )에서 가장 높고 정점 7(4.3  $\mu\text{g L}^{-1}$ )에서 가장 낮게 나타나 내만에서 바깥지역으로 나아가며 낮아지는 분포 양상을 보였다. 이러한 분포 양상은 중속영양 박테리아와 유사하였으며 상당히 높은 연관성을 보였다( $r=0.557$ ,  $p<0.001$ ). 엽록소-a 농도가 1.2~23(평균 7.5)  $\mu\text{g L}^{-1}$ 의 범위를 보인 거제 장목만에서도 중속영양 박테리아와 유의한 상관관계를 보였다(미발표자료). 반면 마산만 내 옥계항 [0.15~18.2(평균 4.33)  $\mu\text{g L}^{-1}$ ]에서는 박테리아와 유의한 상관관계를 보이지 않았으며(이 2007), 이와 같이 유의하지 않거나 약한 상관관계를 보이는 경우(심 등 1993; Cho et al. 1994)도 있다.

**중속영양 미소편모류의 분포**

일반적으로 중속영양 미소편모류는 부유생태계에서  $10^2\sim 10^5$  cells  $\text{mL}^{-1}$ 의 농도로 분포하고(e.g. Berninger et al. 1991; Lee and Choi 2000; Lee et al. 2002) 대부분이 10  $\mu\text{m}$  이하의 작은 크기로 존재한다(e.g. Lee and Patterson 2002). 1994년 하계 마산만 속천항에서  $2.3\sim 21$ (평균 9.4)  $\times 10^3$  cells  $\text{mL}^{-1}$ 의 분포범위를 보였고(Lee et al. 2002) 1999년 하계 소모도 안쪽 해역에서  $0.2\sim 4.5 \times 10^3$  cells  $\text{mL}^{-1}$ 의 분포범위를 보였다(Park and Cho 2002). 또한 2005-2006년 마산 옥계항에서는  $0.15\sim 8.7$ (평균 2.7)  $\times 10^3$  cells  $\text{mL}^{-1}$ 의 현존량(이 2007)이 보고되었다. 본 연구에서 출현한 대부분의 중속영양 미소편모류는 5  $\mu\text{m}$  이하의 작은 크기의 세포로 구성되었으며 현존량은  $0.08\sim 4.2$ (평균  $1.2$ )  $\times 10^3$  cells  $\text{mL}^{-1}$ 의 분포 범위를 보였다. 중속영양 미

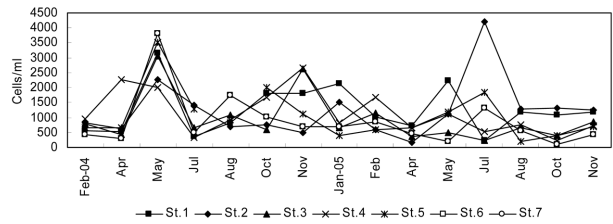


Fig. 4. Abundance of heterotrophic nanoflagellates in Masan Bay.

소편모류의 현존량은 박테리아의 현존량이 높았던 정점 1, 2, 4에서 높고 다른 정점에서는 비교적 낮은 농도로 출현하였다(Fig. 4). 마산만에서의 중속영양 미소편모류의 현존량 분포 범위는  $0.08\sim 21 \times 10^3$  cells  $\text{mL}^{-1}$ 로 범위가 상당히 넓었으며 주로 오염이 심화된 곳에서 높게 나타났다. 마산만 외 연안환경에서는 경기만의 경우  $0.39\sim 44 \times 10^3$  cells  $\text{mL}^{-1}$ (Lee and Choi 2000; Lee et al. 2002; 양 등 2003)와 새만금 주변해역에서는  $0.12\sim 1.5 \times 10^3$  cells  $\text{mL}^{-1}$ (미발표자료)의 현존량을 보였다. 동해유광대 및 독도 주변해역에서는 각각  $0.4\sim 7.5 \times 10^3$  cells  $\text{mL}^{-1}$ (Cho et al. 2000)와  $0.4\sim 0.6 \times 10^3$  cells  $\text{mL}^{-1}$ (Cho et al. 1998)의 현존량이 보고되었다. 이러한 기존의 연구결과를 볼 때 독도 주변해역을 제외하고는 중속영양 미소편모류의 현존량은 다른 해역하고 커다란 차이를 보이지 않는 것 같으며, 이들의 분포나 현존량은 주로 먹이생물의 생물량이나 포식자에 의한 포식활동에 의해 조절(e.g. Gasol and Vaqué 1993)되는 관계로 종종 뚜렷한 계절적 분포양상이 나타나지 않는다. 본 연구에서는 중속영양 미소편모류는 중속영양 박테리아와 양의 상관관계를 보이는 점으로 먹이생물의 분포 양상을 따르는 것으로 판단된다. 또한 중속영양 미소편모류도 중속영양 박테리아와 유사하게 비교적 유기물 오염이 심한 지역에서 비교적 높은 출현 양상을 나타내는 것으로 사료된다.

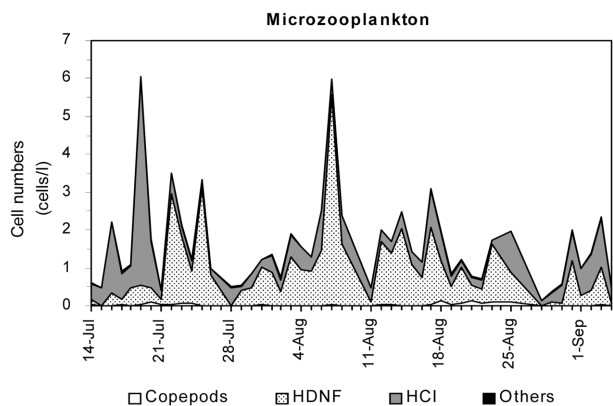


Fig. 5. Contributions of Heterotrophic dinoflagellates (HDNF) and ciliates (HCL) abundances to microzooplankton (adopted from Lee et al. 2005).

소형 동물플랑크톤의 분포

원생동물(섬모충류, 증속영양 외편모류)은 수생생태계의 소형부유동물(microzooplankton) 군집 내에서 수적으로 상당한 부분을 차지하고 있으며(Carlough and Meyer 1989; Porter *et al.* 1985; Lee *et al.* 2005) 해양생태계에서 매우 다양한 역할을 수행한다: 박테리아와 부유식물의 포식자, 다른 부유동물의 알이나 유생의 포식자, 부유후생동물의 먹이, 다른 원생동물의 포식자 또는 중간 상호포식(Fenchel and Larsson 1988; Jeong 1994; Stoecker and

Sanders 1985; Latz and Jeong 1996; Jeong *et al.* 1997). Lee *et al.*(2005)은 마산만과 인접한 거제 장목만에서 원생동물이 소형부유동물 개체수의 약 97% 이상을 차지하고 있음을 보고하였다(Fig. 5). 이는 국내 연안에서도 원생동물이 소형부유동물 또는 전체 부유동물 군집에서 상당히 중요한 역할을 할 수 있음을 시사한다. 본 연구에서 소형부유동물(증속영양외편모류와 섬모충류)은  $0.01\sim 56(\text{평균 } 1.6)\times 10^4 \text{ cells L}^{-1}$ 의 현존량 분포를 보였으며, 정점 1, 2와 4에서는 평균  $1.4\times 10^4 \text{ cells L}^{-1}$  이상의 농도를 보였고

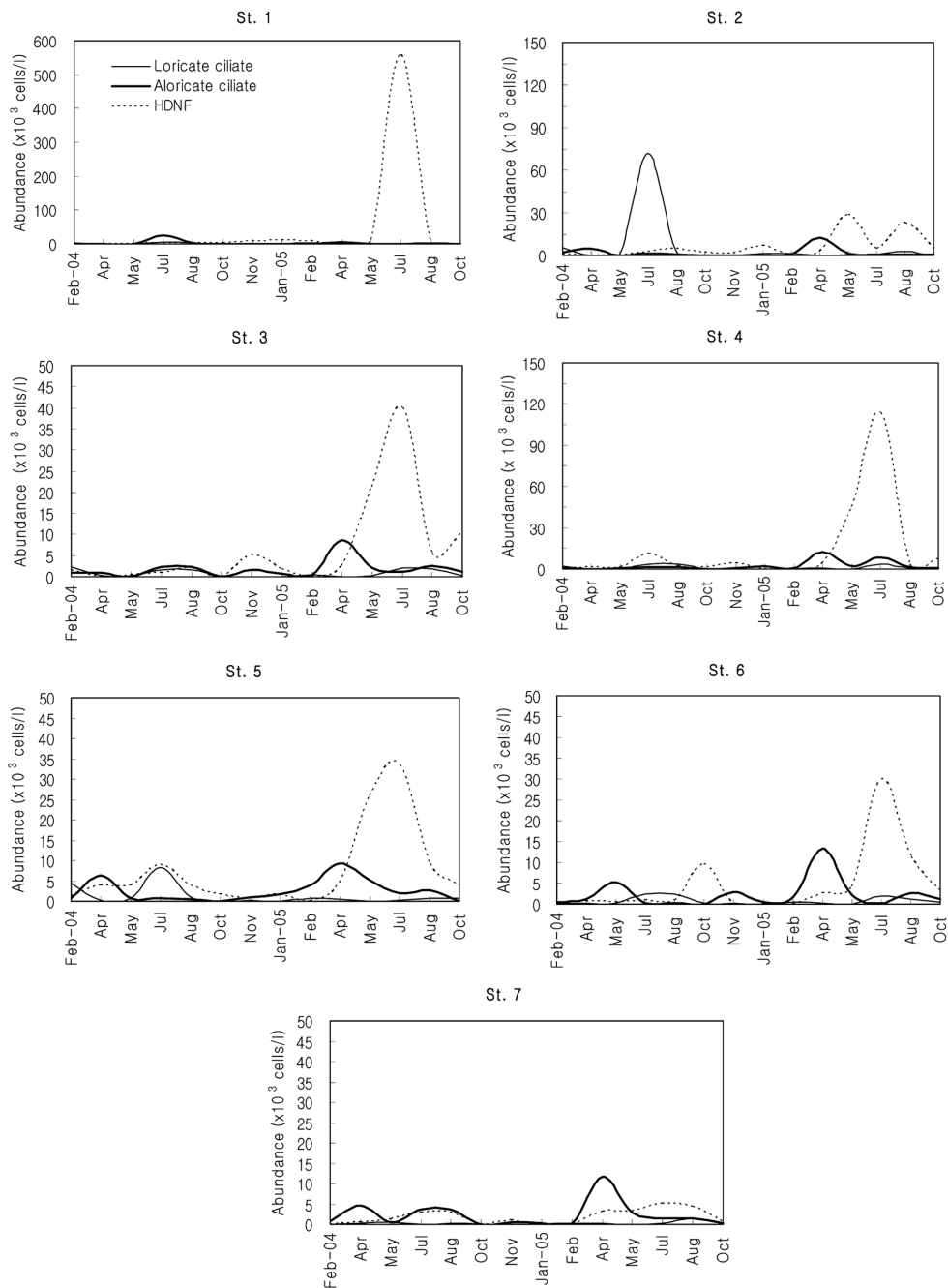


Fig. 6. Abundances of microzooplankton (HDNF & HCL) in Masan Bay.

다른 정점에서는  $1.4 \times 10^4$  cells  $L^{-1}$  이하의 농도를 보였다. 전반적으로 내만 정점에서 높고 외쪽 정점에서 낮은 현존량을 보였으며(Fig. 6), 특히 정점 1에서는  $4.8 \times 10^4$  cells  $L^{-1}$ 로 가장 높았고 정점 7(평균  $0.43 \times 10^4$  cells  $L^{-1}$ )에서 가장 낮았다.

섬모충류의 현존량은 하계 마산만 속천항에서  $1.5 \sim 73$  (평균 27)  $\times 10^4$  cells  $L^{-1}$ (Lee et al. 2002), 경기만 지역에서  $0.33 \sim 4.5 \times 10^4$  cells  $L^{-1}$ (Lee and Choi 2000; 양과 최 2003), 새만금 지역에서  $0.04 \sim 2.8 \times 10^4$  cells  $L^{-1}$ (정 등 2002; 이, 미발표자료)와 제주 남부해역에서는 평균  $0.27 \times 10^4$  cells  $L^{-1}$ (김과 이 2003)이 보고되었다. 본 연구에서는 섬모충류의 현존량은  $0.01 \sim 7.3$ (평균 4.0)  $\times 10^4$  cells  $L^{-1}$ 의 분포 범위로 2004년 7월 정점 2에서 가장 높은 현존량을 보였으며 유충섬모충류(tintinnids)인 *Eutintinnus*에 의해서 우점되었다(Fig. 6). 전반적으로 제주 해역과 마산만 속천항을 제외한 다른 지역과 유사한 분포를 보였으며, 정점 1과 2에서 높고 정점 7에서 비교적 낮은 현존량을 보였다.

중속영양 외편모류의 현존량은 하계 마산만 속천항에서  $0.66 \sim 16$ (평균 7.9)  $\times 10^4$  cells  $L^{-1}$ (Lee et al. 2002), 경기만에서  $0.01 \sim 4.8$ (평균 0.90)  $\times 10^4$  cells  $L^{-1}$ (양과 최 2003)와 인천항에서 하계에 평균  $25 \times 10^4$  cells  $L^{-1}$ (Lee et al. 2002)이 보고되었다. 또한 새만금 지역에서는  $0.10 \sim 1.1 \times 10^4$  cells  $L^{-1}$ (정 등 2002; 미발표자료)와 고흥지역에서  $0.2 \sim 4.5 \times 10^4$  cells  $L^{-1}$ (정 등 2000)의 현존량이 보고되었다. 본 연구수역에서 최우점속(genus)은 *Protoperidinium*이었으며 현존량은  $0 \sim 55.8$ (평균 1.20)  $\times 10^4$  cells  $L^{-1}$ 을 보여 다른 지역에 비해 높은 현존량을 보였고 최대 현존량은 다른 지역에 비해 상당히 높게 나타났다(Fig. 6). 정점 1과 4에서 평균  $1.0 \times 10^4$  cells  $L^{-1}$  이상의 비교적 높은 현존량을 보였던 반면 정점 7에서는  $0.2 \times 10^4$  cells  $L^{-1}$ 의 가장 낮은 현존량을 보여 외만에 비해 내만지역에서 상당히 높은 현존량을 보였다.

### 원생동물의 역할 및 생물량 결정 요인

수서생태계에서 원생동물의 역할을 이해하기 위해서는 원생동물의 생물량이나 분포를 조절하는 요인이 무엇인지 파악하는 것이 중요하다. 이러한 요인으로 수온, 염분, 광도, 수소이온 농도, 유기물, 먹이원과 포식 등을 들 수 있다. 일반적으로 이들의 분포나 성장은 먹이원의 제한(resource limitation)과 포식(top-down)에 의해서 영향을 받는 것으로 알려졌다.

부유생태계에서 원생동물의 잠재적인 포식 정도를 추정하기 위한 방법중의 하나는 먹이생물과 포식자의 생물량 간의 연관성을 보는 것이다(Sherr and Sherr 1984). 하지만 유의성 있는 상관 값이 항상 직접적인 인과관계를 의

미하는 것이 아니고 하나의 요인이 다른 요인들과 함께 변하기 때문에 상관분석의 결과를 신중히 분석해야만 한다. 예를 들어, 먹이생물과 포식자간의 양의 상관 값은 포식물에 비해 먹이생물의 빠른 성장률 때문일 수도 있고 가중된 포식압이 먹이생물의 증가를 불러 올 수 있기 때문일 수도 있다(Fenchel 1987). 이러한 설명이 현장에서 먹이생물과 포식자간의 양의 상관관계를 어느 정도 설명할 수 있을 것 같다.

일반적으로 중속영양 미소편모류는 중속영양 박테리아와 양의 상관성을 갖는다(e.g. Berninger et al. 1991). 본 연구에서도 박테리아와 양의 상관관계( $r=0.376$ ,  $P<0.0001$ ) 보였지만 다른 생물요인과는 뚜렷한 상관관계를 보이지 않았다. 반면  $30 \mu m$  이하 소형 섬모충류는 박테리아( $r=0.544$ ,  $P<0.001$ ), 남조류( $r=0.462$ ,  $P<0.001$ ), 크기가  $20 \mu m$  이하 미소조류( $r=0.534$ ,  $P<0.001$ )와 뚜렷한 상관관계를 보였다. 이러한 결과는 소형 원생동물이 박테리아를 비롯한 미소식물의 생장에 상당한 영향을 주었을 것으로 판단된다.

### 중속영양 미소편모류의 박테리아에 대한 섭식률

수서생태계에서 중속영양 박테리아는 소형 원생동물의 주 먹이원이다(e.g. Azam et al. 1983; Caron and Finlay 1994). 중속영양 박테리아와 중속영양 미소편모류의 상호관계를 정량하는 방법으로 섭식율을 측정하며 가장 일반적으로 사용하는 방법은 형광표지 박테리아(FLB)를 이용(Sherr et al. 1987)하는 것이다. FLB를 이용하여 국내에서 측정된 개체당 섭식률은  $1 \sim 111$  bacteria  $HNF^{-1} h^{-1}$ 의 넓은 범위를 보였으며 비교적 오염된 해역에서 개체당 섭식율이 높은 것으로 판단된다: 경기만  $1.2 \sim 9.5$  bacteria  $HNF^{-1} h^{-1}$ (양 등 2003; Choi et al. 1995), 만경동진강  $2.2 \sim 14.2$  bacteria  $HNF^{-1} h^{-1}$ (심 등 1995b), 시화호  $14 \sim 111$  bacteria  $HNF^{-1} h^{-1}$ (Choi et al. 1999), 동해 유광대  $1 \sim 8$  bacteria  $HNF^{-1} h^{-1}$ (Cho et al. 2000), 마산만 하계 표층  $3.3 \sim 81$  bacteria  $HNF^{-1} h^{-1}$ (Park and Cho 2002). 본 연구에서는 섭식률을 직접 측정하지 않은 관계로 마산만에서 연구한 Park and Cho (2002)의 평균 섭식률 값( $23$  bacteria  $HNF^{-1} h^{-1}$ )을 본 연구결과에 적용하였다. 그 결과 중속영양 미소편모류가 박테리아 이차생산의 약 69%(정점 평균 20~95%)를 제거하는 것으로 추정되었으며 이는 경기만에서 조사된 62%(양 등 2003)와 유사하였다. 본 연구에서 박테리아에 대한 섭식률은 정점 1에서 가장 낮고 정점 7에서 가장 높았던 점으로 보아 정점 1에서 다른 정점에 비해 중속영양 미소편모류 성장에 필요이상의 잉여 박테리아 생물량이 있었을 수 있음을 시사하였다. 결과적으로 마산만에서 중속영양 미소편모류의 생물량을 결정하는 요인은 주로 먹이원인 박테리아의 생물량이었을 것

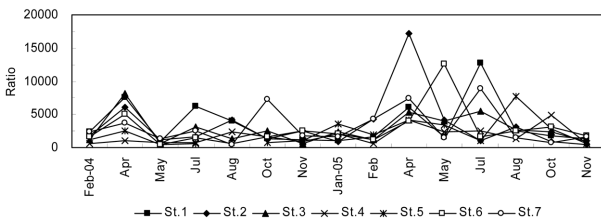


Fig. 7. Ratios of heterotrophic bacteria to heterotrophic nanoflagellates in Masan Bay

로 판단된다.

일반적으로 해양 부유생태계에서 박테리아와 종속영양 편모류의 현존량 비(BAC/HNF)는 ~1000:1이다(Andersen and Fenchel 1985; Sanders *et al.* 1992). 즉, 모든 박테리아가 종속영양 편모류에 의해서만 포식된다고 가정할 때, 약 1,000마리의 박테리아가 한마리의 종속영양 편모류의 성장에 필요하다는 것이다. 본 연구에서는 384~35,330(평균 3,564) Bacteria/HNF의 비를 보였으며 특정시기를 제외하고 상당히 높게 나타났다(Fig. 7). 상대적인 비가 높다는 것은 박테리아가 종속영양 편모류의 성장에 필요한 양보다 훨씬 많은 생물량이 존재하므로 박테리아를 먹이원으로 하는 다른 생물과 종속영양 미소편모류의 다양한 포식자가 존재할 수 있음을 암시한다. 또한 Bacteria/HNF 비가 높을수록 종속영양 미소 편모류가 박테리아 포식자로서의 역할이 다른 지역에 비해 작을 수도 있기 때문에 본 연구지역에서 특히 정점 1에서는 포식자로서의 역할이 다른 수역에 비해 작았을 것으로 판단된다. 이러한 결과는 종속영양 미소편모류의 박테리아에 대한 섭식률 결과와 잘 일치하며 잉여 박테리아 생물량은 정점 1에서 높게 출현한 소형 섬모충류나 종속영양 외편모류에게 이용되었을 것으로 사료된다.

**소형부유동물의 부유식물에 대한 섭식률**

최근 여러 연구자들에 의해 소형부유동물이 부유식물의 성장을 조절한다는 것이 알려졌다. Landry and Clavet (2005)에 의하면 일일 일차생산력의 60~70%가 소형부유동물에 의해서 소비된다. 이는 기존에 우리가 알고 있던 부유식물의 대부분이 중형부유동물에 의해 소비된다는 것에 상반된 결과인 관계로 소형부유동물이 생물먹이망내에서 에너지 흐름이나 물질순환에 있어 상당히 중요한 역할을 하고 있다는 것을 시사한다.

본 연구에서는 소형부유동물(원생생물)의 부유식물에 대한 섭식률을 측정하기 위하여 일반적 방법인 희석방법(Landry and Hassett 1982)을 이용하였다. 미산만 부유식물의 배가시간(doubling time)은 0.04~4.57 d<sup>-1</sup>로 나타났으며, 소형부유동물의 섭식률은 초기 엽록소 농도 대비 3.6~89%를 제거하는 것으로 나타났다. 섭식률은 조사시기

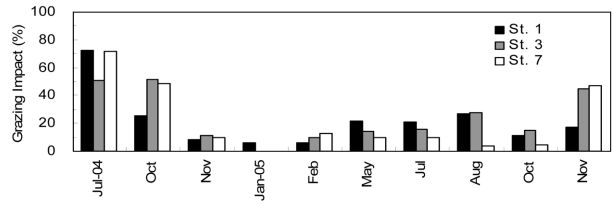


Fig. 8. Grazing impacts of microzooplankton on phytoplankton in Masan Bay

와 정점에 따라 다르게 나타났다. 비교적 정점 7에서 낮고 내만 정점인 정점 1과 3에서 높게 나타났고 겨울철 보다는 다른 시기에 높았다(Fig. 8). 또한 섭식률은 정점 3에서 초기 엽록소-a 농도와 상당히 미약한 상관성을 보인 반면 정점 1( $r=0.524, p<0.01$ )과 정점 7( $r=0.748, p<0.005$ )에서는 상당히 높은 상관 값을 보였다. 이러한 결과로 보아 소형부유동물의 섭식률은 환경 영양상태와 물리화학적 상태에 따라 달라질 수 있는 것으로 판단된다.

**4. 추후 연구방향**

본 논문의 본문에서 언급한 바와 같이 국내 해양원생동물 연구는 1980년 후반부터 시작되어 지난 20여년 간 비교적 많은 노력을 기울여 상당한 진전을 보였다. 하지만 부유생태계에서의 원생동물에 대한 연구가 주를 이루었고 저서생태계(퇴적물)에서의 연구는 상대적으로 상당히 미진하였다. 또한 생태학적 연구에 비해 기본적으로 이루어져야 할 분류학적 연구는 거의 이루어지지 않았으며 더 많은 관심과 연구가 요구되는 부분이라고 생각한다. 국외에서는 이러한 원생동물의 독특한 생물학적 특성을 이용하여 먹이생물, 환경독성 평가, 환경변화에 따른 생태계 평가, 수질평가, 신 물질 및 의약품 개발 등 다양한 분야에 비교적 활발한 연구를 하고 있는 반면에 국내에서는 이러한 시도가 거의 없었다. 이러한 이유는 전문 연구인력 부족이 가장 큰 원인이라고 본다. 예로, 연안생태계의 건강성 또는 오염 정도를 정확히 평가하기 위해서는 기존의 물리 화학적인 수질분석 자료 외에 생물학적 자료(예, 원생동물의 군집구조 및 종조성)가 포함되어야만 한다. 하지만 국내에서는 원생동물뿐만 아니라 다른 분야에서도 전문 연구인력이 상당히 부족한 실정이다. 따라서 이와 같은 종합적이고 실용적인 연구를 하기 위해서는 우선적으로 전문연구인력 풀(pool)이 형성되어야만 한다고 생각한다.

**5. 적 요**

국내에서 해양원생동물의 연구는 1990년대 초반에 본격적으로 시작되어 주로 원생동물의 분포와 섭식 등에 관한 연구가 진행되어왔다. 본 논문에서는 미산만 표영 환경

에서의 박테리아와 원생동물의 분포, 박테리아와 원생동물의 상호작용과 원생동물과 식물플랑크톤의 상호작용의 특성에 대해 알아보고 앞으로의 연구방향에 대해 토의하였다. 마산만에서 종속영양 미소편모류의 현존량은 평균  $1.2 \times 10^3$  cells mL<sup>-1</sup>, 종속영양 외편모류는 평균  $7.9 \times 10^4$  cells mL<sup>-1</sup>, 섬모충류는 평균  $4.0 \times 10^4$  cells L<sup>-1</sup>로 나타났으며 전반적으로 엽록소-*a* 농도, 박테리아와 원생동물의 현존량은 유기물 유입이 많은 내만 정점에서 높게 나타났다. 종속영양 미소편모류는 박테리아 이차생산의 약 69%를 제거하는 것으로 나타나 박테리아 생물량을 조절할 것으로 판단되며 소형부유동물은 미소조류 및 박테리아와의 상관관계를 보였고 식물플랑크톤에 대한 섭식율(평균 24%)로 인해 이들 생물군집들에게 영향을 주었을 것으로 추정된다. 따라서 마산만에서 원생동물은 박테리아와 미소조류의 성장을 조절하고 이들의 생물량을 상위영양단계로 직접 전달하는 것으로 사료된다. 특히 종속영양 미소편모류는 마산만에서 박테리아의 주 포식자일 것으로 추정된다. 또한 마산만은 후생동물 먹이망보다 미세생물 먹이망이 상당히 잘 발달된 곳으로 추정된다.

## 사 사

본 연구는 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업(2004-2007년) “수서생태계(미소생태계) 구조 및 기능 연구를 통한 생태환경 관리 기술 개발 연구” 사업과 2007년도 한국해양연구원 정책사업 “연안해역 건강도 평가 기술 개발을 위한 예비연구(PE97904)” 사업의 지원으로 수행되었습니다. 시료채취에 도움을 준 경남대학교 해양환경 및 미생물 연구실의 박문수, 한국보군과 한국해양연구원 남해연구소의 부유생물실 팀원들에게 감사를 드립니다.

## 참고문헌

김요혜, 이준백. 2003. 제주도 남부해역의 부유성 섬모충류의 종조성과 계절 변동. *한국해양학회지 「바다」*, 8, 59-69.

박남주. 1995. 한국 연안의 미세생물 먹이망내에서 종속영양 외편모류의 역할에 관한 연구. 석사학위논문, 인하대학교. 129 p.

심재형, 박수영, 조병철, 이원호. 1995a. 만경동진강 염하구에서 섬모충류에 의한 박테리아 섭식에 관하여. *한국해양학회지*, 30, 426-435.

심재형, 신윤근, 조병철. 1993. 만경동진강 염하구에서의 박테리아 및 식물플랑크톤의 역할과 상호관계. *한국해양학회지*, 28, 107-113.

심재형, 윤성화, 윤상선, 최동한, 조병철. 1995b. 만경동진강 염하구에서 종속영양성 및 혼합영양성 미소편모류의 수

도와 박테리아 섭식. *한국해양학회지*, 30, 413-425.

양은진, 최종기. 2003. 경기만 수역에서 미세생물 군집의 계절적 변동 연구 II. 미소형 및 소형 동물플랑크톤. *한국해양학회지 「바다」*, 8, 78-93.

양은진, 최종기, 현정호. 2003. 경기만 수역에서 미세생물 군집의 계절적 변동 연구 I. 박테리아와 종속영양 미소편모류. *한국해양학회지 「바다」*, 8, 44-57.

이승민. 2005. 남해 및 동중국해의 미세생물분포와 먹이망 구조. 박사학위논문, 인하대학교. 188 p.

이원제. 1993. 경기만 유영생태계에서 부유원생동물의 역할에 관한 연구. 석사학위논문, 인하대학교. 81 p.

이원제. 2007. 옥계만 단일정점에서 극미소 및 미소플랑크톤의 시간적 분포. *한국환경과학회지*, 16, 855-863.

정해진, 박종규, 김재성, 김성택, 윤주이, 김수경, 박용민. 2000. 전남 고흥 해역의 유해성 적조의 발생연구 3. 1997년도 종속영양성 외편모류와 섬모류의 시공간적 변화. *한국해양학회지 「바다」*, 5, 37-46.

정해진, 유영두, 김재성. 2002. 전북 새만금 남쪽해역의 유해성 적조 연구 발생연구 2. 1999년도 여름-가을 종속영양성 외편모류와 섬모충류의 시간적 변화. *한국해양학회지 「바다」*, 7, 140-147.

한국해양연구소. 1998. 진해 마산만 수질환경 관리모델 개발 (II). BSPE 98703-01-1147-2.

한국해양연구소. 1999. 진해 마산만 수질환경 관리모델 개발 (III). BSPE 99750-00-1238-2.

한명수, 유광일. 1983a. 진해만의 쌍편모조류에 관한 분류학적 연구. 제1보: 유각류와 무각류. *해양연구소보*, 5, 37-47.

한명수, 유광일. 1983b. 진해만의 쌍편모조류에 관한 분류학적 연구. 제2보: 페리디니움목. *해양연구소보*, 5, 49-67.

Andersen, P. and T. Fenchel. 1985. Bacterivory by microheterotrophic flagellates in seawater samples. *Limnol. Oceanogr.*, 30, 198-202.

Andersson, A., U. Larsson, and A. Hagstrom. 1986. Size-selective grazing by a microflagellate on pelagic bacteria. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 33, 51-57.

Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, J.S. Gray, L.A. Meyer-Reil, and F. Thingstad. 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 10, 257-263.

Bell, R.T. and J. Kuparinen. 1984. Assessing phytoplankton and bacterioplankton production during early spring in Lake Erken, Sweden. *Appl. Environ. Microbiol.*, 48, 1221-1230.

Berninger, U.-G., D.A. Caron, R.W. Sanders, and B.J. Finlay. 1991. Heterotrophic flagellates of planktonic communities, their characteristics and methods of study. p. 39-56. In: *The biology of free-living heterotrophic flagellates*. ed. by D.J. Patterson and J. Larsen. Clarendon Press, Oxford.

Bird, D.F. and J. Kalf. 1984. Empirical relationships



- between bacterial abundance and chlorophyll concentration in fresh and marine waters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41, 1015-1023.
- Bloem, J., C. Albert, M.-J.B. Bar-Gilisen, T. Berman, and T.E. Cappenberg. 1989. Nutrient cycling through phytoplankton, bacteria and protozoa, in selectively filtered Lake Vechten Water. *J. Plankt. Res.*, 11, 119-131.
- Bratbak, G., M. Haldal, S. Norland, and T.F. Thingstad. 1990. Viruses as partners in spring bloom microbial trophodynamics. *Appl. Environ. Microbiol.*, 56, 1400-1405.
- Carlough, L.A. and J.L. Meyer. 1989. Protozoans in two southeastern blackwater rivers and their importance to trophic transfer. *Limnol. Oceanogr.*, 34, 163-177.
- Caron, D.A. and B.J. Finlay. 1994. Protozoan links in food webs. *Prog. Protozool.*, 125-130.
- Caron, D.A., J.C. Goldman, O.K. Andersen, and M.R. Dennett. 1985. Nutrient cycling in a microflagellate food chain: II. Population dynamics and carbon cycling. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 24, 243-254.
- Cho, B.C., J.K. Choi, C.S. Chung, and G.H. Hong. 1994. Uncoupling of bacteria and phytoplankton during a spring diatom bloom in the mouth of the Yellow Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 115, 181-190.
- Cho, B.C., J.H. Shim, and G.H. Hong. 1998. Bacterial abundance and production in July 1997 in the vicinity of Tokdo, East Sea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 33, 205-211.
- Cho, B.C., S.C. Na, and D.H. Choi. 1998. Active ingestion of fluorescently labeled bacteria by mesopelagic heterotrophic nanoflagellates in the East Sea, Korea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 206, 23-32.
- Choi, J.K., S.K. Kim, J.H. Noh, and K.C. Park. 1995. The study on the grazing rate of protozooplankton in the microbial food web of Incheon coastal waters. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 30, 458-466.
- Choi, D.H., S.C. Na, Y.C. Park, S.H. Huh, and B.C. Cho. 1999. Characteristics of microbial abundance in hypoxic water of brackish Lake Shiwa. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 34, 236-240.
- Epply, R.W., S.G. Horrigan, J.A. Fuhrman, E.R. Brooks, C.C. Price, and K. Sellner. 1981. Origins of dissolved organic matter in southern California coastal waters: Experiments on the role of zooplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 6, 149-159.
- Fenchel, T. 1987. Ecology of protozoa: The biology of free-living phagotrophic protists. Science Tech Publishers, Medison.
- Fenchel, T. and P.R. Larsson. 1988. The functional biology of *Strombidium sulcatum*, a marine oligotrich ciliate (Ciliophora, Oligotrichina). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 48, 1-15.
- Gasol, J.M. and D. Vaqué. 1993. Lack of coupling between heterotrophic nanoflagellates and bacteria: A general phenomenon across aquatic system? *Limnol. Oceanogr.*, 38, 657-665.
- Goldman, J.C., D.A. Caron, O.K. Anderson, and M.R. Dennett. 1985. Nutrient cycling in a microflagellate food chain: I. Nitrogen dynamics. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 24, 231-242.
- Han, M.-S., S.-W. Kim, and Y.-O. Kim. 1991. Influence of discontinuous layer on plankton community structure and distribution in Masan Bay, Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 24, 459-471.
- Jeong, H.J. 1988. An ecological study on marine tintinnids (ciliated protozoa; Order Tintinnida) in Cheonsu Bay, Korea. MsD Thesis, Seoul University. 60 p.
- Jeong, H.J. 1994. Predation effects of the calanoid copepod *Acartia tonsa* on a population of the heterotrophic dinoflagellate *Protoperidinium* cf. *divergens* in the presence of co-occurring red-tide dinoflagellate prey. *Mar. Eco. Prog. Ser.*, 111, 87-97.
- Jeong, H.J., J.S. Kim, J.Y. Park, J.H. Kim, S. Kim, I. Lee, S.H. Lee, J.H. Ha, and W.H. Yih. 2005. *Stoeckeria algicida* n. gen., n. sp. (Dinophyceae) from the coastal waters off Southern Korea: Morphology and small subunit ribosomal DNA gene sequence. *J. Eukaryot. Microbiol.*, 52, 382-390.
- Jeong, H.J., J.S. Kim, S. Kim, J.Y. Song, I. Lee, and G.-H. Lee. 2004. *Strombidinopsis jeokjo* n. sp. (Ciliophora: Choreotrichida) from the coastal waters off western Korea: morphology and small subunit ribosomal DNA gene sequence. *J. Eukaryot. Microbiol.*, 51, 451-455.
- Jeong, H.J., C.W. Lee, W.H. Yih, and J.S. Kim. 1997. *Fragilidium* cf. *mexicanum*, a thecate mixotrophic dinoflagellate which is prey for and a predator on co-occurring thecate heterotrophic dinoflagellate *Protoperidinium* cf. *divergens*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 151, 299-305.
- Kim, J.S. and H.J. Jeong. 2004. Feeding by the heterotrophic dinoflagellates *Gyrodinium dominans* and *G. spirale* on the red-tide dinoflagellate *Prorocentrum minimum*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 280, 85-94.
- Landry, M.R. and A. Clavet. 2004. Microzooplankton production in the oceans. *ICES J. Mar. Sci.*, 61, 501-507.
- Landry, M.R. and R.P. Hassett. 1982. Estimating the grazing impact of marine micro-zooplankton. *Mar. Biol.*, 67, 283-288.
- Latz, M.I. and H.J. Jeong. 1996. Effects of red tide dinoflagellate diet and cannibalism on the bioluminescence of the heterotrophic dinoflagellates *Protoperidinium* spp.

- Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 132, 275-285.
- Laybourn-Parry, J. and J. Parry. 2000. Flagellates and the microbial loop. p. 216-239. In: *The flagellates: Unity, diversity and evolution*. ed. by B.S.C. Leadbeater and J.C. Green. Taylor & Francis, London and New York.
- Lee, J.-B. and K.-I. Yoo. 1990. Dynamics and seasonal succession of dinoflagellate community in Masan Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 25, 106-116.
- Lee, J.-B. and K.-I. Yoo. 1991. Distribution of dinoflagellate cysts in Masan Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 26, 304-312.
- Lee, W.J. 2002. Some free-living heterotrophic flagellates from marine sediments of Incheon and Ganghwa Island, Korea. *Korean J. Biol. Sci.*, 6, 125-143.
- Lee, W.J. and J.K. Choi. 2000. The role of heterotrophic protists in the planktonic community of Kyeonggi Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 35, 46-55.
- Lee, W.J. and D.J. Patterson. 2002. Abundance and biomass of heterotrophic flagellates, and factors controlling their abundance and distribution in sediments of Botany Bay. *Microb. Ecol.*, 43, 467-481.
- Lee, W.J., N.J. Park, and J.K. Choi. 2002. Abundance of heterotrophic- and photosynthetic dinoflagellates and factors controlling their abundance in Korean coastal waters during summer 1994. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 37, 201-211.
- Lee, W.J., K. Shin, P.G. Jang, M.-C. Jang, M. Chang, and N.J. Park. 2005. Summer pattern of phytoplankton distribution at a station in Jangmok Bay. *Ocean Sci. J.*, 40, 109-117.
- Lei, Y., J.K. Choi, K. Xu, and W. Petz. 2005a. Morphology and infraciliature of three species of *Metaurostylopsis* (Ciliophora, Stichotrichia): *M. songi* n. sp., *M. salina* n. sp., and *M. marina* (Kahl 1932) from sediments, saline ponds, and coastal waters. *J. Eukar. Microbiol.*, 52, 1-10.
- Lei, Y., K. Xu, and J.K. Choi. 2005b. *Holosticha hamulata* n. sp. and *Holosticha heterofoissneri* Hu and Song, 2001, two urostylid ciliates (protozoa, ciliophora) from intertidal sediments of the Yellow Sea. *J. Eukar. Microbiol.*, 52, 310-318.
- Park, J.S. and B.C. Cho. 2002. Active heterotrophic nanoflagellates in the hypoxic water-column of the eutrophic Masan Bay, Korea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 230, 35-45.
- Parsons, T.R., Y. Maita, and C.M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford.
- Pomeroy, L.R. 1974. The ocean's food web, a changing paradigm. *BioScience*, 24, 499-504.
- Porter, K.G., E.B. Sherr, B.F. Sherr, M. Pace, and R.W. Sanders. 1985. Protozoa in planktonic food webs. *J. Protozool.*, 32, 409-415.
- Sanders, R.W., D.A. Caron, and U.-G. Berninger. 1992. Relationships between bacteria and heterotrophic nanoplankton in marine and fresh waters: An inter-ecosystem comparison. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 86, 1-14.
- Sherr, B.F. and E.B. Sherr. 1984. Role of heterotrophic protozoa in carbon and energy flow in aquatic ecosystems. p. 412-423. In: *Current Perspective in Microbial Ecology*. ed. by M.J. Klug and C.A. Reddy. American Society for Microbiology, Washington, D.C.
- Sherr, E.B. and B.F. Sherr. 1988. Role of microbes in pelagic food webs: A revised concept. *Limnol. Oceanogr.*, 33, 1225-1227.
- Sherr, B.F., E.B. Sherr, and R.D. Fallon. 1987. Use of monodispersed, fluorescently labeled bacteria to estimate in situ protozoan bacterivory. *Appl. Environ. Microbiol.*, 53, 958-965.
- Small, L.F., M.R. Landry, R.W. Eppley, F. Azam, and A.F. Carlucci. 1989. Role of plankton in the carbon and nitrogen budgets of Santa Monica Basin California. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 56, 57-74.
- Stoecker, D.K. and N.K. Sanders. 1985. Differential grazing by *Acartia tonsa* on a dinoflagellate and a tintinnid. *J. Plankt. Res.*, 7, 85-100.
- Stout, J.D. 1980. The role of protozoa in nutrient cycling and energy flow. p. 1-50. In: *Advances in microbial ecology*. ed. by K.C. Maeshall. Plenum Press, New York.
- Yoo, K.I., D.Y. Kim, and Y.O. Kim. 1988. Taxonomical studies on tintinnids (Protozoa: Ciliata) in Korean coastal waters. 1. Chinhae Bay. *Korean J. Syst. Zool.*, 4, 67-90.
- Yoo, K.I. and Y.O. Kim. 1990. Taxonomical studies on tintinnids (Protozoa: Ciliata) in Korean coastal waters 2. Yongil Bay. *Korean J. Syst. Zool.*, 6, 87-122.
- Yoo, K. and J.B. Lee. 1987. On the trophic correlation between tintinnids and dinoflagellates in Masan Bay, Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 20, 230-236.

---

Received Nov. 1, 2007

Accepted Dec. 10, 2007