

Article

남해 거제도 장목만에서 부유성 섬모충의 시기별 분포 특성

김영옥* · 장민철

한국해양연구원 남해연구소
(656-830) 경상남도 거제시 장목면 장목리 391Temporal Distribution of Planktonic Ciliates in Jangmok Bay,
South Coast of Korea

Young-Ok Kim* and Min-Chul Jang

South Sea Institute, KORDI
Geoje 656-830, Korea

Abstract : Ciliate plankton samples were collected biweekly from July 2006 to June 2008 in Jangmok Bay of Geoje Island. Species composition and abundances were analyzed by quantitative protargol stain and environmental parameters were also examined. A total of 88 ciliate species occurred during the study period, consisting of 22 tintinnids, 51 oligotrichs, and 15 other species. Higher ciliate abundances appeared from June to October during the warm season ($>20^{\circ}\text{C}$) and the maximum (4.0×10^4 cells L^{-1}) in August, while the lower abundances were found during the cold season. The minimum ciliate abundance was found in November when water temperature rapidly decreased. The temporal succession of dominant species was very clear and opportunistic. *Pelagostrombidium* sp., *Tontonia simplicidens*, *Helicostomella subulata*, and *Myrionecta rubra* were co-dominant in summer while *Rimostrombidium orientale* occurred abundantly in winter. *Strombidium tressum* and *S. compressum*, eurythermal species, were observed during all seasons. Based on the species-specific ecology of ciliate plankton, it is suggested that the indicative ciliate species can be applied as a biological tool to detect environmental change in the southern coastal waters of Korea.

Key words : ciliate plankton, ecological characteristics, Jangmok Bay

1. 서 론

섬모충플랑크톤은 미세생물고리(microbial loop)의 최종 소비자로 저차생산단계의 에너지를 효율적으로 상위단계로 전달하는 부유생물군으로 알려져 있다(Porter *et al.* 1985; Bernard and Rassoulzadegan 1990). 이 같은 섬모충플랑크톤의 중요성이 국내에서도 인식되기 시작하여 비교적 중동정이 용이한 유충섬모충류(tintinnids)에 관한 분류학적 연구가 1980년대 후반에 비로소 시작되었으며(Yoo *et al.* 1988; Yoo and Kim 1990), 마산만, 경기만, 섬진강

하구의 내만수역에서 유충섬모충류의 생태학적 중요성도 함께 입증되었다(Yoo and Lee 1987; Jeong 1988; 유와 박 2001). 그 후 남해, 동해, 동중국해의 넓은 해역에 걸친 이들의 분포가 보고되어 내만에 치우쳤던 유충섬모충류 조사영역이 확대되었다(Lee and Kim 1999; Lee and Kim 2000). 한편 섬모충플랑크톤 중 연약한 세포를 지닌 빈섬모충류(oligotrichs)는 세포 고정과 염색 및 정밀 관찰의 기술 부족으로 형태적 분석이 제한되어 왔다. 따라서 빈섬모충류의 경우, 유충섬모충류보다 개체수가 높게 출현하는 분류군임에도 불구하고 중동정을 포함하는 정성분석보다 정량분석에 치우친 연구결과만 발표되었다(Lee and Choi 2000; 정 등 2000, 2002; 양과 최 2003). 현재까지

*Corresponding author. E-mail: yokim@kordi.re.kr

빈섬모충류의 정성분석을 포함한 섬모충플랑크톤의 종특성을 고려한 생태학적 연구는 제주도 남부해역에서 유일하게 보고되어 있을 뿐으로 이들에 관한 국내해역의 자료가 절대적으로 부족하다(김과 이 2003).

본 연구는 국내해역에 출현하는 섬모충플랑크톤 출현종을 심도있게 파악하여 섬모충 출현종의 시기별 변화와 물리, 화학, 생물학적 관련 수환경요인과의 관계를 밝힘으로 출현종 중 환경변화에 가장 민감한 섬모충 종류를 선별하여 차후 장기모니터링을 위한 지표생물을 활용 및 확보로 발전시키고자 한다.

2. 재료 및 방법

본 연구의 조사 시기는 2006년 7월부터 2008년 6월까지 2년 동안 거제도 장목만에 선정된 단일 정점에서 매월 2회 현장조사를 실시했다(Fig. 1). 표층(수심 0.5 m)에서 Van Dorn 채수기를 이용하여 해수를 채수한 후 선상에서 플라스틱 시료병(300 ml)에 Bouin's soln.을 최종농도가 5%가 되도록 주입하고 이어 glacial acetic acid를 최종농도가 1%가 되도록 주입했다. 두 용액을 시료병에 넣은 후, 채수된 해수를 전체 부피가 300 ml 되도록 천천히 주입하여 섬모충 세포를 고정했다. 고정된 시료는 실험실로 운반하여 섬모충의 정량, 정성용 시료로 사용했다. Bouin's soln.으로 고정된 시료는 Quantitative Protargol Stain 방법에 의해 섬모충플랑크톤의 세포 염색을 통해 정성 및 정량 분석을 동시에 실시했으며(Montagnes and Lynn 1987), 염색된 섬모충 개체는 영구 프레파라트로 제작된 후, 광학현미경 고배율(400/1000배) 하에서 섬모열과 핵의 모양을 관찰한 후 종의 동정을 실시했고 종별로 세포를 계수했다.

섬모충플랑크톤 출현종의 분포에 영향을 미칠 수 있는 수 환경요인으로 수온, 염분, pH와 용존산소를 CTD (Idronaut, Ocean Seven 319)와 YSI(Model 6600)를 이용

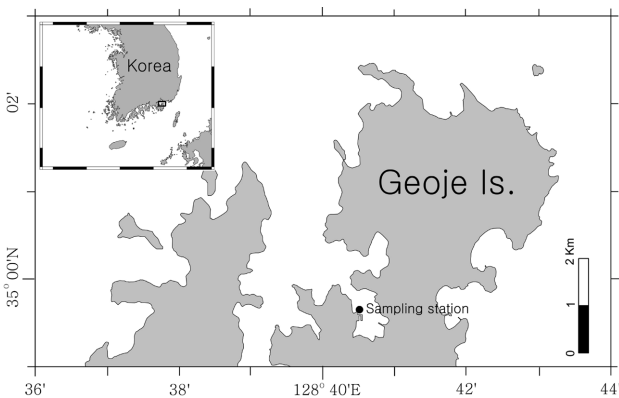


Fig. 1. A sampling station in Jangmok Bay of Geoje Island.

하여 측정했다. 아울러 섬모충플랑크톤의 개체군 증식과 소멸에 미치는 먹이생물 조건을 파악하기 위해 크기 분획별(<3 μm , 3-20 μm , >20 μm)로 엽록소-*a*의 농도를 아세톤 추출법에 의하여 측정했다.

3. 결과 및 토의

조사해역의 수환경 변동

2006년 7월부터 2008년 6월까지 2년 간 수온의 변화는 전형적인 온대 연안해역의 계절적 특성을 나타냈다. 7월에서 10월까지의 20°C 이상의 고수온을 기록했으며 반면 1월에서 3월까지의 10°C 이하의 저수온을 나타냈고 4월에서 6월로 가면서 수온은 다시 급속히 증가하는 전형적인 온대 연안해역의 수온변화 결과를 보였다(Fig. 2). 최고 수온은 2006년에는 8월 초에 2007년에는 8월 말에 약 29°C와 28°C를 각각 기록했고 최저 수온은 2007년 1월과 2008년 2월에 7.6°C와 5.5°C가 각각 측정되었다. 전반기 조사년도(2006-2007년)의 경우가 후반기 조사년도(2007-2008년)에 비해 수온이 약 1°C 높게 기록되었다. 염분의 변화는 수온의 계절변화와 상반되는 고수온기에 상대적으로 낮은 염분과 저수온기 높은 염분 분포로 염분과 수온은 음의 상관($r=-0.618$, $p<0.05$)을 보임으로 전형적인 T-S 분포패턴을 나타냈다. 2006년 7월과 2007년 9월에 20.1 psu와 25.8 psu의 낮은 염분으로 큰 폭의 감소가 감지되었으며 이는 강우에 기인된 결과로 해석된다(김 2007). 동계의 저수온기로 진행되면서 염분은 점차 증가하여 2007년 1월 33.2 psu와 2008년 1월에 33.6 psu의 값으로 각각 년 최고치를 기록했다.

용존산소는 수온이 높은 시기에 상대적으로 낮은 농도(5-6 mg L^{-1})를 보였으며 강우에 의해 염분이 큰 폭으로 감소한 2006년 7월 말과 2007년 10월 초에 급증했고 이후 저수온기 1월부터 5월까지 8-12 mg L^{-1} 의 고농도의 범위 내에서 증감을 반복했다. 용존산소의 급증시기인 2006년 7월 말에서 8월 초에는 pH도 소폭의 상승을 보였

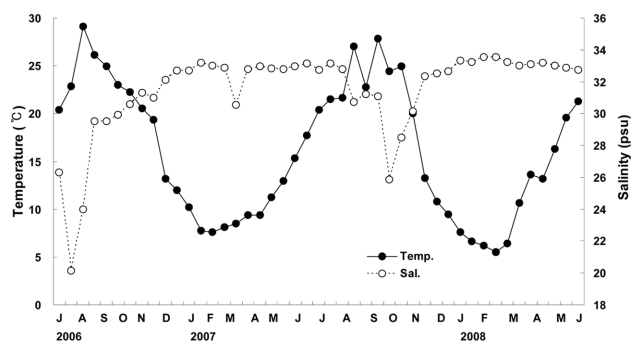


Fig. 2. Temporal changes in water temperature and salinity in Jangmok Bay.

으며 2006년 5월 말에 pH는 7.2로 급감소를 보였다. 이 같은 pH의 변화는 염분도의 변화와 반대되는 결과로 음의 상관($r=-0.400, p<0.05$)을 나타냈다(Fig. 3).

엽록소-*a* 농도 변화의 경우, 고수온기에 높은 농도를 보였으며 반대로 수온이 낮은 동계에 상대적 낮은 농도를 보여 수온의 변화와 양의 상관관계($r=0.403, p<0.001$)를 나타냈다. 2006년 7월에서 2007년 5월의 조사 전반기보다 2007년 6월부터 2008년 6월까지 조사 후반기의 농도가 상대적으로 높은 값을 보였다. 크기별 분획 농도의 경

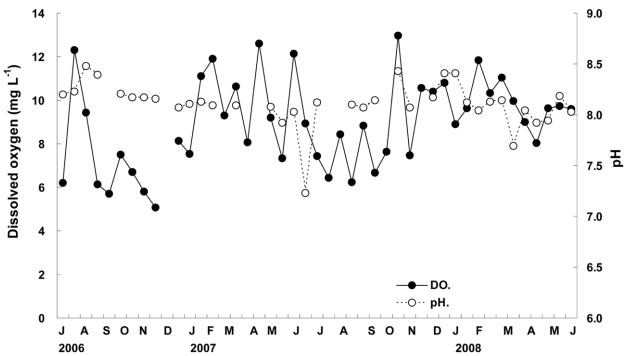


Fig. 3. Temporal changes in dissolved oxygen and pH in Jangmok Bay.

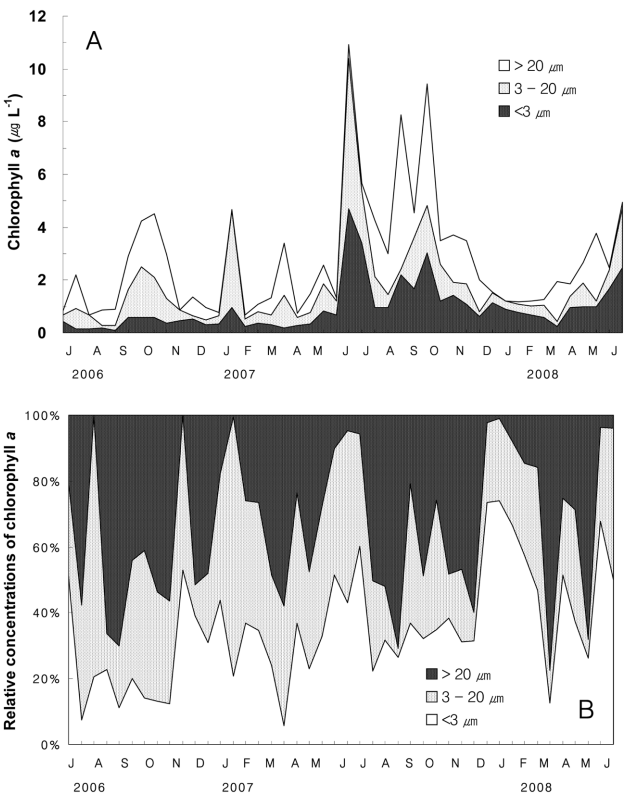


Fig. 4. Temporal changes in concentrations of chlorophyll *a* of picoplankton (<3 μm), nanoplankton (3-20 μm), and microplankton (>20 μm) in Jangmok Bay.

우, 3 μm 이하의 극미소식물플랑크톤의 분포를 짐작 할 수 있는 분획에서 엽록소-*a* 농도는 2006년에 비해 2007년에 높은 농도를 보였으며 특히 2007년 6월과 10월에 4.7 $\mu\text{g L}^{-1}$ 과 3.0 $\mu\text{g L}^{-1}$ 의 고농도가 주목되었고 2008년 1월과 2월에는 전체 엽록소-*a* 농도의 50% 이상을 차지하였다. 미소식물플랑크톤의 생물량이 압시되는 3-20 μm 분획의 농도는 2006년 10월 추계에 증가하였으며 2007년 1월과 7월에도 3.0 $\mu\text{g L}^{-1}$ 의 고농도가 측정되었고 2006년과 동일하게 10월에도 약 2 $\mu\text{g L}^{-1}$ 로 농도 증가가 감지되었다. 2006년 8월과 2007년 1월에는 전체 엽록소-*a* 농도의 80%로 대부분의 농도를 3-20 μm 분획이 차지했다. 20 μm 이상의 분획은 2006년 10월, 2007년 7, 8월과 10월 그리고 2008년 5월에 2.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이상의 고농도를 각각 기록했다(Fig. 4A, B).

부유성 섬모충의 출현종수의 변동

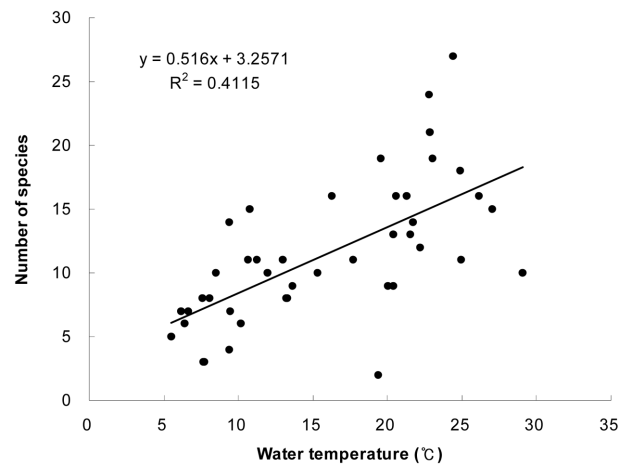
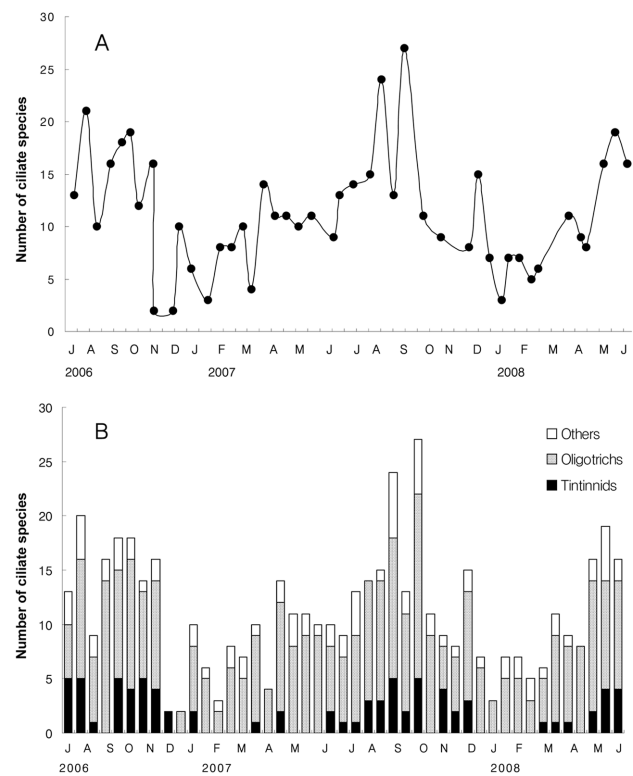
2006년 7월부터 2008년 6월 까지 조사결과 섬모충 플랑크톤의 출현종수는 총 91종류가 관찰되었으며 유종섬모충류가 22종, 빈섬모충류가 51종, 기타 15종류로 구성되어 있었다(Table 1). 시기별 출현종수의 변화는 뚜렷한 계절적 특성을 보였으며 수온과 섬모충플랑크톤의 출현종수는 강한 양의 상관관계($r=0.641, p<0.05, n=43$)를 보였다(Fig. 5). 즉 고수온기 6-10월까지의 10종 이상의 상대적 다양한 종구성을 보였으나 저수온기에는 10종 이하로 적은 수의 출현종이 관찰되었다(Fig. 6A). 분류군별 출현종수의 변화는 유종섬모충류의 경우 고수온기에 출현종수의 증가가 타 분류군에 비해 뚜렷하게 감지되는 반면 저수온기 1월과 2월에는 거의 분포하지 않는 계절 특성을 나타냈다. 빈섬모충류의 경우도 고수온기에 출현종수가 증가하였으며 저수온기에도 적은 출현종수로 그 출현이 감지되었다(Fig. 6B). 빈섬모충류 중에는 *Strombidium* 속의 종류가 31종류로 종구성의 대부분을 차지했고 유종섬모충류는 *Tintinnopsis* 속의 종류가 9 종류로 타 속(genus)보다 다양한 종류가 출현하여 전형적인 내만해역의 특성을 반영하고 있었다. 위와 같은 출현종수의 시기별 변화가 반영되어 섬모충플랑크톤 군집의 다양성 지수는 7-9월의 고수온기에는 2.0 이상으로 타 시기보다 높았다(Fig. 7).

부유성 섬모충의 개체수 변동

조사기간 중 섬모충플랑크톤 개체수 변동은 출현종수의 변화와 유사하게 6월에서 10월까지 20°C 이상의 고수온기에 상대적 높은 개체수를 보인 반면 11월에서 3월까지 저수온기에는 1.0×10^4 cells L^{-1} 이하의 저밀도가 관찰되었다. 특히 2006년 11월에 150 cells L^{-1} 의 최저치로 급격히 감소하였으며 이후 15°C 이하의 저수온기인 1월에서 4월까지 1.0 $\times 10^4$ cells L^{-1} 이하의 저밀도 개체수 분포를

Table 1. List of planktonic ciliate species occurred from in Jangmok Bay from July 2006 to July 2008

Oligotrichs	Tintinnids
<i>Cyrtostrombidium boreale</i>	<i>Amphorellopsis acuta</i>
<i>Cyrtostrombidium wailesi</i>	<i>Dadayiella ganymedes</i>
<i>Laboea strobila</i>	<i>Eutintinnus lususundae</i>
<i>Lohmaniella oviformis</i>	<i>Eutintinnus tubulosus</i>
<i>Omegastrombidium kahli</i>	<i>Favella ehrenbergii</i>
<i>Parastrombidium</i> sp.	<i>Favella taraikaensis</i>
<i>Pelagostrombidium spiralis</i>	<i>Helicostomella subulata</i>
<i>Pelagostrombidium</i> sp.	<i>Leprotintinnus neriticus</i>
<i>Rimostrombidium conicum</i>	<i>Salpingella laminata</i>
<i>Rimostrombidium orientale</i>	<i>Salpingella subconica</i>
<i>Rimostrombidium multinucleatum</i>	<i>Stenosemella nivalis</i>
<i>Rimostrombidium undinum</i>	<i>Stenosemella ventricosa</i>
<i>Rimostrombidium</i> sp.	<i>Tintinnidium muscicola</i>
<i>Spirotontonia grandis</i>	<i>Tintinnopsis baltica</i>
<i>Strombidinopsis acuminata</i>	<i>Tintinnopsis beroidea</i>
<i>Strombidinopsis batos</i>	<i>Tintinnopsis corniger</i>
<i>Strombidinopsis chilhorax</i>	<i>Tintinnopsis cylindrica</i>
<i>Strombidinopsis jeokjo</i>	<i>Tintinnopsis nana</i>
<i>Strombidinopsis minima</i>	<i>Tintinnopsis radix</i>
<i>Strombidinopsis</i> sp.	<i>Tintinnopsis tocontinensis</i>
<i>Strombidium acutum</i>	<i>Tintinnopsis</i> sp.1
<i>Strombidium bilobum</i>	<i>Tintinnopsis</i> sp.2
<i>Strombidium capitatum</i>	
<i>Strombidium compressum</i>	
<i>Strombidium conicum</i>	Others
<i>Strombidium constrictum</i>	<i>Askenesia</i> sp.
<i>Strombidium dalum</i>	<i>Balanion</i> sp.
<i>Strombidium epidenum</i>	<i>Cyclotrichium</i> sp.
<i>Strombidium inclinatum</i>	<i>Didinium gargantua</i>
<i>Strombidium globosaneum</i>	<i>Euploteus</i> sp.
<i>Strombidium rapulum</i>	<i>Holophrya</i> sp.1
<i>Strombidium siculum</i>	<i>Holophrya</i> sp.2
<i>Strombidium sulcatum</i>	<i>Monodinium balbianii</i>
<i>Strombidium taylori</i>	<i>Myrionecta rubra</i>
<i>Strombidium tressum</i>	<i>Tiarina fusus</i>
<i>Strombidium ventropinum</i>	<i>Uronema</i> sp.1
<i>Strombidium wulffi</i>	<i>Uronema</i> sp.2
<i>Strombidium</i> spp.	<i>Urotricha</i> sp.
(10 unidentified spp.)	<i>Vorticella</i> sp.
<i>Tontonia corunuta</i>	Unknown ciliate sp.
<i>Tontonia poopsia</i>	
<i>Tontonia simplicidens</i>	
<i>Tontonia tubinata</i>	

**Fig. 5. Scattergram and linear correlation of the number of ciliate species and water temperature.****Fig. 6. Temporal changes in total number of ciliate species (A) and the number of species in ciliate groups (oligotrichs, tintinnids, and others).**

보였다(Fig. 8). 두 해 모두 11월에 약 7°C의 큰 폭으로 수온이 감소되는 시기에 섬모충의 개체수가 크게 감소하는 일치를 보였다. 2007년 8월에 개체수는 4.0×10^4 cells L⁻¹로 급증했고 동시기에 엽록소-a의 20 μ m 이상의 분획에서도 급증의 일치를 보였다. 이 시기 우점적 출현한 종류는 독립영양을 하는 *Myrionecta rubra*로 이 경우 섬모충의 개체수와 엽록소-a의 농도 증가의 일치는 피포식의 관

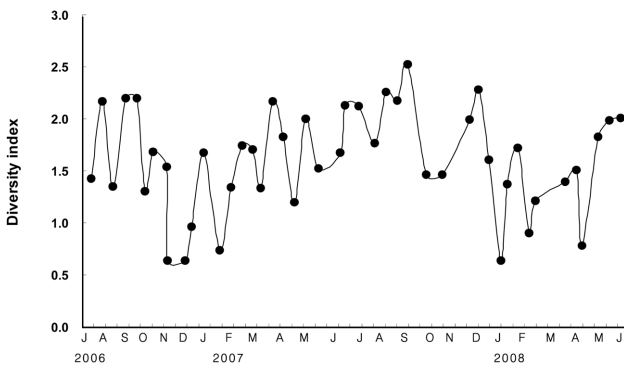


Fig. 7. Temporal changes in diversity index of ciliate community in Jangmok Bay.

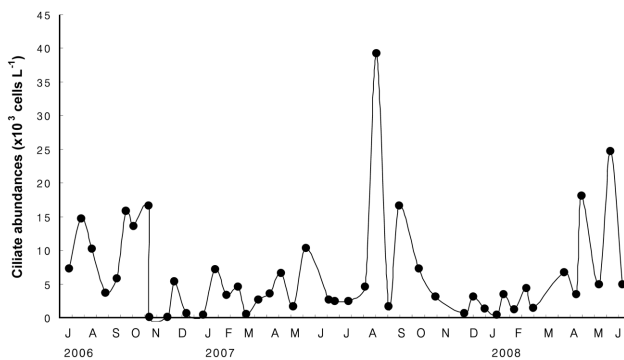


Fig. 8. Temporal changes in total abundances of ciliate plankton in Jangmok Bay.

계로 해석할 수 없으며, *M. rubra*는 세포내 엽록체를 보유하고 있어 식물플랑크톤과 함께 엽록소-*a*의 농도 증가에 기여했다고 판단된다. 섬모충플랑크톤의 대부분은 박테리아나 소형 식물플랑크톤을 포식한다고 일반적으로 알려져 있다(Pierce and Turner 1992). 이 들 먹이생물은 주로 고수온기에 생물량이 증가함으로 본 연구기간 중 섬모충 플랑크톤의 개체수도 고수온기에 동반 증가함으로 해석된다.

부유성 섬모충의 우점종 변동과 수환경과의 관계

섬모충 플랑크톤 우점종은 개체수가 1,000 cells L⁻¹ 이상으로 2회 이상 출현한 종류를 선별하였다. 조사기간 중 섬모충플랑크톤의 우점종은 단기간(2주일)에 변하는 특징을 보였으며 대부분의 고수온기에 집중적으로 출현했다(Fig. 9-1, 9-2). 2006년 7월 초에는 소형 유종섬모충류 *Tintinnopsis nana*가 우점했으며 2007년 8월, 2008년 6월에도 우점을 보여 매년 6-8월 사이 번성하는 종류로 판단된다. *T. nana*에 이어 2006년 7월 말에는 빈섬모충류 *Strombidium bilobum*과 유종섬모충류 *Helicostomella subulata*로 우점종이 천이되었으며, 수온이 29°C까지 상승한 2006년 8월 초에는 소형 빈섬모충류 *Pelagostrombidium*

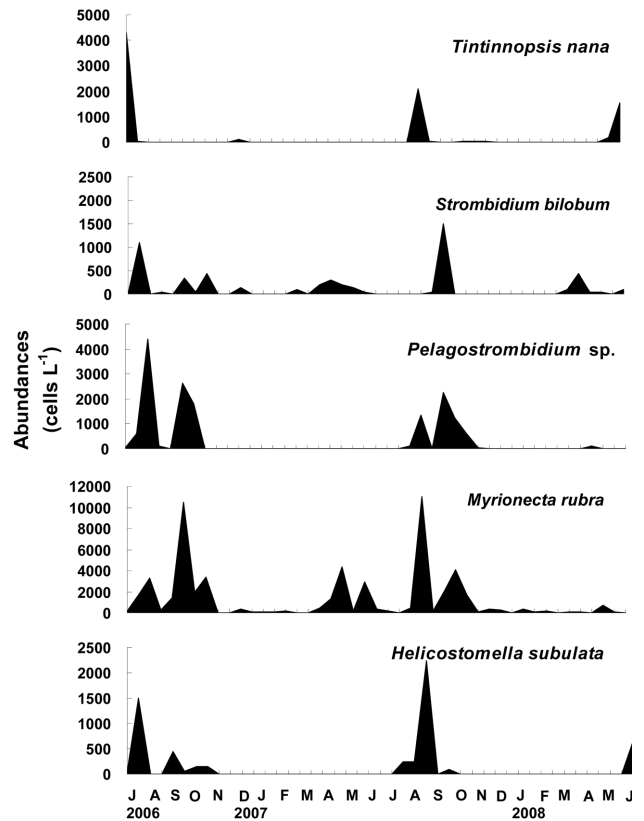


Fig. 9-1. Temporal changes in abundances of dominant ciliate species in Jangmok Bay.

sp.가 우점종으로 출현하여 10월까지 지속적인 분포를 보였다. *P. sp.*는 2007년에도 동시기에 우점하여 고수온기에 출현하는 장목만의 대표종으로 판단된다. 독립영양 섬모충인 *Myrionecta rubra*의 경우도 고수온기인 2006년 9월에 최고 개체수(1.0×10⁴ cells L⁻¹)로 우점했으며 2007년 8월에도 우점을 보여 *P. sp.*와 함께 고수온기에 주로 우점하는 종으로 판단된다. 이 밖에도 7-9월 사이의 고수온기에 우점하는 종류는 빈섬모충류 *Tontonia simplicidens*, *Strombidium dahum*과 유종섬모충류 *Helicostomella subulata*를 들 수 있다(Fig. 8). 고수온기는 물론 추계와 동계의 저수온기도 출현하는 종류는 *Strombidium tressum*과 *Strombidium compressum*으로 이 두 종류의 빈섬모충류는 광온성으로 판단되며, 장목만에 출현한 섬모충플랑크톤 중 유일하게 저수온기 동계에 상대적 고밀도의 분포를 보이는 종은 *Rimostrombidium orientale*로 2007년과 2008년 1-2월에 우점하였다.

이들 우점종의 시기별 천이는 수환경의 변화와 밀접한 관계를 보였다. 수온과 개체수의 변화가 양의 상관관계를 보이는 종류는 *Pelagostrombidium sp.*, *Myrionecta rubra*, *Tontonia simplicidens*, *Helicostomella subulata*, 반대로 저수온기에 출현했던 *Rimostrombidium orientale*는 음의 상관관계를 보였

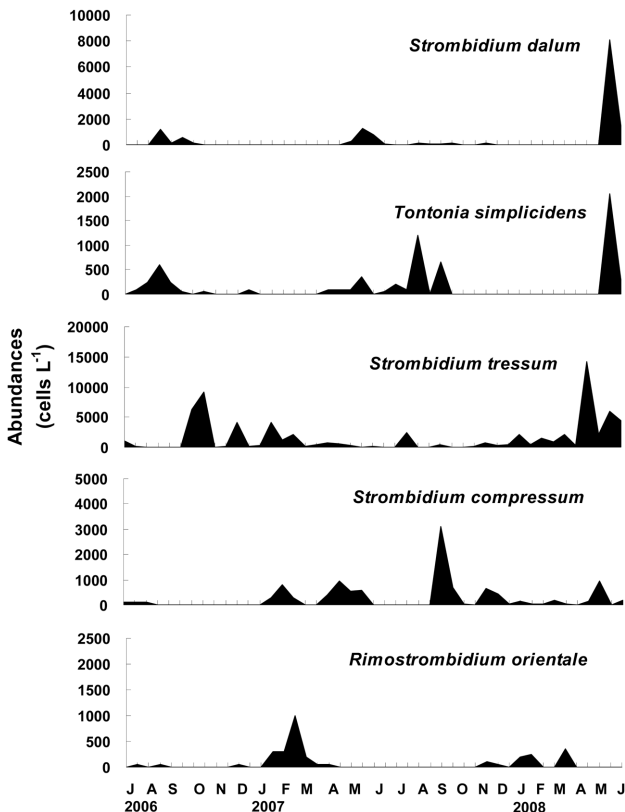


Fig. 9-2. Temporal changes in abundances of dominant ciliate species in Jangmok Bay.

다. 엽분과 음의 상관관계를 보이는 종류는 *P. sp.*와 *Strombidium bilobum*이었고, pH와는 *Strombidium inclinatum*이 음의 상관관계를 보였고 이 종류는 박테리아를 포식하는 대표적인 종류로 보고되어 있다(Fenchel and Jonsson 1988; Montagnes et al. 1990). 일반적으로 박테리아는 유기물 분해 시 산소를 소모함으로써 주변 pH는 감소하는 경향이 있으므로 이 같은 결과는 *S. inclinatum*의 서식환경이 반영되었다고 할 수 있다. 엽록소-*a* 농도와 독립영양 섬모충인 *M. rubra*와 *H. subulata*가 양의 상관관계를 나타내었다(Table 2). *M. rubra*의 경우 세포의 크기가 20 μm 이상으로 엽록소-*a*를 함유하고 있어 20 μm 이상 분획의 엽록소-*a* 농도와 양의

상관성이 타당하게 이해될 수 있다. 유충섬모충류는 피갑의 구경(oral diameter)의 40-45%에 상응하는 크기 이하의 먹이를 섭취할 수 있다고 보고되어 있다(Spittler 1973; Heinbokel 1978). 이 같은 보고를 적용하여 해석하면 *H. subulata*는 피갑의 구경이 21-23 μm 으로 먹이생물의 크기는 10 μm 이하가 타당함으로 *H. subulata*의 개체수와 20 μm 이상 분획의 엽록소-*a* 농도와 양의 상관성은 포식자와 먹이환경의 관계로 해석하기 어렵다. 따라서 이들의 관계는 이들의 증가에 영향을 미치는 타 환경요인의 공유관계를 차후 면밀히 검토할 필요가 있다.

유충섬모충류 *Tintinnopsis nana*의 경우 마산만과 시화호와 같이 오염해역에서도 본 조사결과와 유사하게 고수온기 8월에 고밀도의 개체수(1.0×10^6 cells L^{-1})가 관찰되었다. *T. nana*의 경우 세포의 구경이 18 μm 의 소형종으로 7 μm 이하의 박테리아와 같은 작은 극미소플랑크톤을 효율적으로 섭취할 수 있으며 박테리아의 증식기에 고밀도 분포가 보고되어 있다(김 등 2007; Kim et al. 2007). 따라서 본 종은 장목만에서도 타 시기보다 박테리아의 번성이 유리한 고수온기에 우점적인 출현을 보였다고 판단된다.

유충섬모충류 *Helicostomella subulata*는 국내 연안해역에 흔히 출현하는 종류로 마산만, 구룡포항, 제주근해와 동중국해에서도 그 출현이 보고되어 있다(Lee and Kim 1999, 2000; Kim et al. 2007; 김 등 2007). 본 종은 계절별로 형태적 특징이 변화하는 종으로 알려져 있으며 고수온기에는 피갑(lorica)의 구연(oral margin)에 구치(oral teeth)가 약화되며 반대로 저수온기에 출현하는 개체는 구치가 잘 발달되는 수온에 따른 종내 형태적 변이가 관찰된다(Alder 1999). *H. subulata*는 장목만에서 고수온기에 주로 출현하였으며 구치가 약화된 형태적 특징을 보였다.

독립영양 섬모류 *Myrionecta rubra*는 본 연구 결과와 유사하게 마산만, 시화호, 새만금해역에서도 하계에 높은 개체수 분포가 기록되었다(이 2004; Kim et al. 2007; 김 등 2007). 이 종의 분포는 식물플랑크톤의 분포 패턴과 일치하는 결과가 구룡포항에서 보고되었으며 이는 이 종이 독립영양성은 식물플랑크톤과 같이 무기영양염을 사

Table 2. Relationships between the abundances of dominant ciliate species and environment parameters

	Temperature	Salinity	pH	chlorophyll <i>a</i> (>20 μm)
<i>Pelagostrombidium sp.</i>	0.531	-0.599		
<i>Myrionecta rubra</i>	0.412			0.564
<i>Tontonia simplicidens</i>	0.350			
<i>Helicostomella subulata</i>	0.338			0.539
<i>Rimostrombidium orientale</i>	-0.403			
<i>Strombidium bilobum</i>		-0.553		
<i>Amphorellopsis acuta</i>		-0.633		
<i>Strombidium inclinatum</i>			-0.495	

용함으로 식물플랑크톤과 생태학적 지위를 공유하기 때문으로 해석하고 있다(Kim *et al.* 2007). 장목만에서도 이와 상응하는 결과로 *M. rubra*는 규조류와 외편모조류와 같은 식물플랑크톤의 주요 구성원이 포함되는 20 μm 이상의 엽록소-*a* 분획 농도와 양의 상관관계를 이해할 수 있다.

빈섬모충류 *Strombidium tressum*은 장목만에서 비교적 광범위한 시기에 걸쳐 출현하는 종류로 2007년 4월에 1.0×10^4 cells L^{-1} 이상의 높은 개체수가 관찰되었으며, 이와 유사하게 마산만에서도 2006년 4월에 1.0×10^5 cells L^{-1} 이상의 고밀도의 출현이 보고되었고(김 등 2007), 제주 연안해역에서도 2000년 5월에 우점종으로 기록되었다(김과 이 2003). 따라서 *S. tressum*은 주로 춘계에 높은 생장을 보이는 종류로 판단되며 빈섬모충류 중에서 타 종류보다 높은 개체수로 출현함으로써 향후 이들의 증식과 주변 환경 요인과의 관계를 규명함이 요구된다.

빈섬모충류 *Strombidium dalum*은 소형종으로 장목만에서 2007년과 2008년 5-6월에 우점적으로 관찰되었다. 제주연안에서는 2000년 3월에 우점종으로 보고되었으며 새만금 해역에서는 고수온기 8월에 5,400 cells L^{-1} 의 개체수가 기록되었고 동시기 박테리아의 최고밀도가 일치함으로써 먹이생물의 생물량에 민감하게 반응하는 종류로 언급하고 있다(이 2004). 이와 같은 결과를 종합하면 *S. dalum*은 저수온기 1-2월을 제외한 대부분의 시기에 출현하는 종류로 판단된다.

빈섬모충류 *Tontonia* 속의 종류는 수질의 변화에 가장 민감하다고 언급되고 있다(Dale 1991). 국내 연구에서도 *Tontonia simplicidens*는 4월에 마산만 내측의 오염수역보다 외측의 오염의 영향이 적은 수역에서 높은 개체수 분포를 보여 수질의 지표종으로 그 활용성이 국내에서도 제시된 바 있다(김 등 2007). 장목만은 주변지역으로부터 오염원 유입이 적은 수역으로 마산만 수역에 비해 상대적 청정수역임이 보고되어 있다(장 2008). 장목만에서 6-9월에 *T. simplicidens*가 출현함은 비교적 오염의 영향이 적은 수역임을 반영하고 있다. *Tontonia* 속의 종류는 세포내에 남조류 색소체를 보유하여 혼합영양을 하는 종류로도 알려져 있다(Laval-Peuto and Rassoulzadegan 1988). 장목만의 인접해역인 마산만에서 *Tontonia* 속의 종류는 장목만과 가까운 만의 외측 수역에 국한하여 우점적으로 출현했으며 동 시기 남조류의 개체수도 외측에서 높은 밀도로 공간 분포의 일치를 보임은 이 같은 사실을 잘 뒷받침하고 있다(미발표 보유자료). 따라서 장목만에서 *T. simplicidens*의 출현은 장목만이 외해역에 근접하여 위치하고 있음으로 인위적 오염원 압력이 비교적 적고 동시에 외해역에 주로 분포하는 남조류에 대한 이들의 생태학적 친화력이 반영되었다고 판단된다.

4. 결 론

거제도 연안 장목만에서 2006년 7월부터 2008년 6월까지 2년간 월 2회의 조사를 통해 섬모충 플랑크톤은 총 88 종류(유종섬모충류 22종, 빈섬모충류 51종류, 기타 섬모류 15종류)가 관찰되었다. 섬모충 플랑크톤은 6월에서 10월 사이 수온이 20°C 이상의 고수온기에 높은 출현종수와 개체수 분포를 보였으며 2007년 8월에 최고 개체수(4.0×10^4 cells L^{-1})를 기록하였다. 반면, 저수온기와 외양수가 유입되는 11월에는 낮은 개체수 분포로 시기별 뚜렷한 차이를 나타냈다. 섬모충 플랑크톤은 박테리아와 미세조류와 같은 먹이생물 분포에 민감한 기회주의적 생물군으로 하계에는 고수온으로 박테리아의 증식이 활발하여 이들의 밀도가 높으므로 섬모충 플랑크톤도 좋은 먹이조건 하에서 동반 생장을 통해 개체수가 타 시기보다 풍부하였다고 해석된다. 섬모충 플랑크톤은 단기간에 변하는 우점종의 천이를 나타내었다. 하계에는 주로 소형종이 우점하였으며 특히 빈섬모충류인 *Pelagostrombidium* sp.와 유종섬모충류 *Tintinnopsis nana*가 대표적 우점종으로 관찰되었으며, 모든 계절에 출현하는 *Strombidium tressum*, 그리고 수온이 낮은 동계에만 출현하는 *Rimostrombidium orientale*와 같이 시기별 우점종의 변화가 매우 뚜렷하였다. 본 연구 결과는 국내 섬모충 플랑크톤의 생태학적 정보를 종 수준에서 구체적으로 제공하며 차후 지속적으로 섬모충 플랑크톤의 장기 모니터링을 통해 남해역 해양 환경 변화에 따른 생물학적 센서로 이들 섬모충 플랑크톤의 수괴 지표성을 활용할 수 있다고 사료된다.

사 사

본 연구는 2006년도 과학기술부의 재원으로 한국과학재단(F01-2006-000-10010-0)의 지원을 받아 수행된 연구입니다. 본 연구를 위해 시료채집에 도움을 주신 한국해양연구원 남해연구소 부유생물연구팀 연구원 그리고 본 논문을 검토해 주신 심사위원님께 감사사를 드립니다.

참고문헌

- 김영옥, 최현우, 이원재, 장풍국, 이재도. 2007. 마산만의 미소생물환(microbial loop) 구성요소의 공간분포와 섬모충 플랑크톤의 분포특성. 2007년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 초록집. 374 p.
- 김요해, 이준백. 2003. 제주도 남부해역의 부유성 섬모충류의 종 조성과 계절 변동. *한국해양학회지* 「바다」, 8, 59-69.
- 김웅서. 2007. 북서태평양이 한반도 주변해(대한해협)에 미치는 영향 연구. 한국해양연구원, BSPP07401-1917-1. 783 p.
- 김재성. 2004. 한국 서,남 연안해역에서 적조생물에 대한 원

- 생동물플랑크톤의 포식압 연구. 이학박사 학위논문, 군산대학교. 238 p.
- 양은진, 최중기. 2003. 경기만 수역에서 미세생물 군집의 계절적 변동 연구 II. 미소형 및 소형 동물플랑크톤. *한국해양학회지* 「바다」, **8**, 78-93.
- 유형빈, 박수산. 2001. 섬진강 하류계에서 유충섬모충류의 군집구조와 계절적 동태. *한국환경생물학회지*, **19**, 25-36.
- 장풍국. 2008. 식물플랑크톤 군집 구조 및 종 천이에 영향을 미치는 영양염 제한과 영양염 비에 관한 연구. 이학박사 학위논문, 부산대학교. 166 p.
- 정해진, 박종규, 김재성, 김성택, 윤주이, 김수경, 박용민. 2000. 전남 고흥해역의 유해성 적조의 발생연구. 3. 1997년도 종속영양성 외편모조류와 섬모류의 시공간적 변화. *한국해양학회지* 「바다」, **5**, 37-46.
- 정해진, 유영두, 김재성. 2002. 전북 새만금 남쪽 해역의 유해성 적조 발생 연구. 2. 1999년도 여름-가을 종속영양성 외편모조류와 섬모류의 시간적 변화. *한국해양학회지* 「바다」, **7**, 140-147.
- Alder V.A. 1999. Tintinnoinea. p. 321-384. In: *South Atlantic Zooplankton*, ed. by D. Boltovskoy. Backhuys Publishers, Leiden.
- Bernard, C. and F. Rassoulzadegan. 1990. Bacteria or microflagellates as a major food source for marine ciliates: possible implications for the microzooplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **64**, 147-155.
- Dale, T. 1991. Pollution - Session summary. p. 113-114. In: *Protozoa and their role in marine processes*, ed. by P.C. Reid, C.M. Turley, and P.H. Burkill. Springer-Verlag, Berlin.
- Fenchel, T. and P.R. Jonsson. 1988. The functional biology of *Strombidium sulcatum*, a marine oligotrich ciliate (Ciliophora, Oligotrichina). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **48**, 1-15.
- Heinbokel, J.F. 1978. Studies on the functional role of tintinnids in the southern California Bight. I. Grazing and growth rates in laboratory cultures. *Mar. Biol.*, **47**, 177-189.
- Jeong, H.J. 1988. An ecological study on marine tintinnids (ciliated protozoa; Order Tintinnida) in Cheonsu Bay, Korea. Ms.D. Thesis Seoul University Korea. 60 p.
- Kim, Y.O., J. Chae, J.S. Hong, and P.G. Jang. 2007. Comparing the distribution of ciliate plankton in inner and outer areas of a harbor divided by an artificial breakwater. *Mar. Environ. Res.*, **64**, 38-53.
- Laval-Peuto, M. and F. Rassoulzadegan. 1988. Autofluorescence of marine planktonic Oligotrichina and other ciliates. *Hydrobiologia*, **159**, 99-110.
- Lee, J.B. and Y.H. Kim. 1999. Distribution of tintinnids in the southern Korean waters, the East Sea, and the East China Sea in the summer of 1998. *Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat. Univ.*, **23**, 29-38.
- Lee, J.B. and Y.H. Kim. 2000. Taxonomical descriptions of tintinnids in the southern Korean waters, the East Sea and the East China Sea. *Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat. Univ.*, **24**, 55-77.
- 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.
- Montagnes, D.J.S. and D.H. Lynn. 1987. A quantitative protargol stain (QPS) for ciliates: method description and test of its quantitative nature. *Mar. Microb. Food Webs*, **2**, 83-93.
- Montagnes, D.J.S., F.J.R. Taylor, and D.H. Lynn. 1990. *Strombidium inclinatum* n. sp. and a reassessment of *Strombidium sulcatum* Claparede and Lachmann (Ciliophora). *J. Protozool.*, **37**, 318-323.
- Pierce, R.W. and J.T. Turner. 1992. Ecology of planktonic ciliates in marine food webs. *Rev. Aquat. Sci.*, **6**, 139-181.
- Porter, K.G., E.B. Sherr, B.F. Sherr, M. Pace, and R.W. Sanders. 1985. Protozoa in planktonic food web. *J. Protozool.*, **32**, 409-415.
- Spittler, P. 1973. Feeding experiments with tintinnids. *Oikos*, suppl., **15**, 128-132.
- 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.I. 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. 4, 2008

Accepted Nov. 20, 2008