

## 대한해협에서 유충섬모충류의 종조성과 시간적 변동

한국보<sup>1,2</sup> · 이원제<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>한국해양연구원 남해연구소

<sup>2</sup>경남대학교 환경공학과

### Temporal Variations and Species Composition of Planktonic Tintinnids (Protist, Ciliophora) in the Korea Strait

GOOK-BO HAN<sup>1,2</sup> AND WON JE LEE<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>KORDI South Sea Institute, Jangmok-myon, Geoje 639-701, Korea

<sup>2</sup>Department of Environmental Engineering, Kyungnam University, Wolyong-dong, Changwon 631-701, Korea

본 연구는 대한해협에서 유충섬모충류의 종조성과 시간적 변동 양상을 파악하기 위하여 2007년 1월부터 12월까지 2개 정점에서 17회에 걸쳐서 수행되었다. 조사기간 동안 출현한 유충섬모충류는 총 22속 51종으로 연안종과 외양종은 각각 9속 27종과 14속 24종이 관찰되었으며, 정점 간 종조성의 차이가 있었다. 정점 1에서는 연안종의 출현이 우세하였던 반면에 정점 2에서는 외양종이 우세하였다. 계절별로 동계와 춘계에는 연안종이, 하계와 추계에는 외양종이 비교적 많이 출현하였다. 출현빈도에 따른 최우점종인 *Stenosemella nivalis*와 *S. pacifica*은 연안종으로써 전 조사기간에 걸쳐서 출현하였으며, *Acanthostomella norvegica*, *Amphorellopsis acuta*, *Epilpocyloides ralumensis*, *Protorhabdonella curta* 등 많은 외양종들은 33 psu 이하 저염기와 24 °C 이상 고수온기인 7월~10월에 집중적으로 출현하였다. 유충섬모충류의 현존량은 0~1,845 cells L<sup>-1</sup>의 범위를 보였으며, 저염 및 고수온기인 하계와 추계에 높은 현존량을 보였고 정점 1에서 정점 2에 비해 높았다. 직접상관분석 및 다중회귀분석결과, 유충섬모충류(특히, 외양종)는 전반적으로 식물플랑크톤(엽록소-a) 보다는 수온 및 염분과 유의성 있는 상관성을 보였으며, 수온과 염분이 현존량 분포에 영향을 주는 중요한 환경요인임을 암시하였다. 본 연구결과 연구해역의 복잡한 해황이 유충섬모충류 현존량 및 종 조성 분포에 중요한 영향을 주었던 것으로 판단된다.

In order to understand the temporal variations and species composition of tintinnids, at two stations of the Korea Strait, this study was carried out from January to December 2007 (n=17). Fifty-one species from 22 genera were encountered: 27 neritic species (9 genera) and 24 oceanic species (14 genera). The species composition was different between two stations, and neritic species frequently appeared at St. 1, while oceanic species more frequently appeared at St. 2. According to the frequency in appearance of species, the most dominant species were neritic species such as *Stenosemella nivalis* and *S. pacifica*, that appeared in all seasons. Also, *Acanthostomella norvegica*, *Amphorellopsis acuta*, *Epilpocyloides ralumensis*, *Protorhabdonella curta* and other many oceanic species appeared intensively during the low salinity ( $\leq 33$  psu) and high water temperature ( $\geq 24$  °C) period (July~October). The abundance of tintinnids ranged from 0 to 1,845 cells L<sup>-1</sup>. It was higher in the seasons (summer and autumn) of low salinity and high water temperature than in other seasons. The abundance was relatively higher at St. 1 than at St. 2. On the basis of correlation and multiple regression analyses, the tintinnid abundance was not correlated with chl-a, but significantly correlated with water temperature and salinity, suggesting to be the primary abiotic factors influencing the abundance. This study suggests that the complex hydrographic conditions of the study area might influence the temporal distribution and species composition of tintinnids.

**Keywords:** Ciliates, Tintinnids, Bioindicator, Water mass, Korea Strait

#### 서 론

부유섬모충류(planktonic ciliates)는 섬모라는 운동기관으로 유영하며 먹이를 섭취하는 원생동물로 해양생태계 부유생물 군집의

주요 구성요소 중 하나이다. 이들은 전 세계 모든 해역에 널리 분포하는 소형부유동물(e.g., Pierce and Turner, 1993)로서 미소부유생물과 극미소부유생물의 주요 소비자이고(e.g., Rassoulzadegan *et al.*, 1988; Bernard and Rassoulzadegan, 1993) 후생동물의 먹이원(e.g., Dolan *et al.*, 1999)으로 작용하여 미소생물 먹이망을 후생동물먹이망으로 연결시켜주는 중요한 매개자 역할을 한다(Porter

\*Corresponding author: wonje@kyungnam.ac.kr

et al., 1979; Azam et al., 1983; Gonzalez et al., 1990; Sherr and Sherr, 2000). 또한 이들의 섭식물과 대사율은 같은 크기의 후생동물보다 높아 해양생태계의 중요한 구성요소로 알려졌다(Pierce and Turner, 1992).

부유섬모충류 분류군 중 하나인 유충섬모충류(tintinnids)는 전체 부유섬모충류 현존량의 5~10% 정도를 차지하며(e.g., Dolan and Marrasé, 1995; Dolan, 2000), 수온과 밀접한 관계가 있어 수괴지표종으로 이용되기도 한다(Hada, 1957; Balech, 1972; Rassouzadegan, 1979; Zeitzschel, 1982; Verity, 1987; Kato and Taniguchi, 1993; Pierce and Turner, 1993; Stelfox et al., 1999; Thompson et al., 1999; Modigh and Castado, 2002). 국내에서 이러한 유충섬모충류의 분류학적 및 생태학적 연구는 1980년대 후반부터 서해, 남해와 동해, 동중국해의 넓은 해역에 걸쳐 이루어져 왔다(Yoo et al., 1988; Yoo and Kim, 1990; Yoo and Lee, 1987; Jeong, 1988; Lee and Kim, 1999, 2000; Lee and Choi, 2000; Yoo and Park, 2001; Kim and Lee, 2003).

한반도와 일본 열도 사이에 위치한 대한해협(Korea Strait)은 동중국해와 동해를 연결하는 좁은 대륙붕 해역으로 길이는 약 330 km 이고, 수심은 중앙에 위치한 220 m의 해곡을 제외하면 약 130 m 미만으로 평탄한 지형에 분포하고 있다. 이 해협은 쿠로시오 해류의 지류인 대마난류가 동중국해로부터 흘러 들어온 대륙 연안수와 혼합되어 제주도 주변을 통과한 후 한반도 연안을 따라 동한 난류를 형성하며, 고온-고염의 해수를 공급하고, 동해의 해수 순환을 조절하는 중요한 해류의 통로 역할을 한다(Moriyasu, 1972). 지금까지 이 해역에서 부유생물에 관한 연구는 Lee et al.(1999), Shon et al.(2008)와 Lee and Kim(2010) 외에는 거의 전무한 실정이다. 본 연구는 연구해역의 미세생물 먹이망 구조를 밝히기 위한 연구의 일환으로서 미세생물먹이망 내에서 중요한 역할을 하는 부유섬모충류의 한 그룹인 유충섬모충류의 종 조성 및 현존량의 시간적 변동 양상을 파악하기 위하여 수행되었다.

## 재료 및 방법

본 연구는 2007년 1월부터 12월까지 대한해협 내 2개 정점에서 월 1~2회 간격으로 총 17회 수행되었다. 정점 1은 남해 연안 해역으로 연안수의 영향을 강하게 받는 지점에 위치하고 정점 2는 한반도와 대마도의 중간 해역에 위치한다(Fig. 1). 해수시료는 채수기(Niskin)를 이용하여 0 m, 5 m, 10 m, 20 m, 30 m, 50 m, 75 m 수층(정점 1은 0~50 m, 정점 2는 0~75 m)에서 채수되었다. 수온 및 염분은 현장에서 CTD (Sea-Bird 43, Sea-Bird Electronics Inc., USA)를 이용하여 1 m 간격으로 측정하였으며, 엽록소-a는 Parsons et al.(1984)의 방법에 따라 분석하였다.

유충섬모충류 분석을 위해 500 mL 병(Polyethylene bottle)에 해수시료 500 mL를 넣은 후, 현장에서 루골용액(Lugol's solution)으로 고정(최종농도 1%)하여 실험실로 운반하였다. 운반된 시료는 24시간 이상 침전 시킨 후, 최종 5 mL로 농축시켜 분석 전까지 암 상태에서 보관하였다. 농축된 시료는 현미경 관찰을 위해 균일하게 섞은 후 Sedgwick-Rafter 계수 판에 1 mL을 넣고, 광학현미경(Zeiss Axioskop II)하에서 계수하였다. 농축된 시료(5 mL)는 분석을 위하여 모두 사용되었다. 중 동정은 200~400 배율 하에서 실

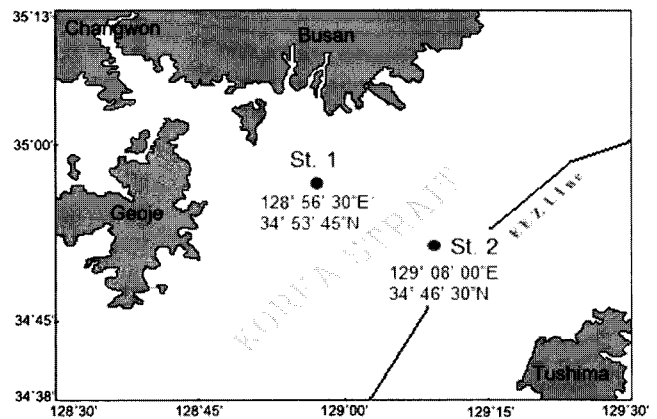


Fig. 1. A map showing the sampling stations in the Korea Strait.

시하였으며, 피각(lorica)의 형태, 길이 및 구경(oral diameter)을 주요 분류키(key)로 사용하였다. 참고문헌으로는 Kofoid and Campbell (1929, 1939), Hada(1932a,b,c, 1935, 1937, 1938), Campbell(1942), Taniguchi(1997), Marshall(1969)과 Alder(1999) 등을 이용하였다. 본 연구에서는 유충섬모충류를 연안종(neritic species)과 외양종(oceanic species)으로 구분하였으며, 이러한 구분은 제주도 인근해역에서 유충섬모충류를 연안종과 외양종으로 구분하여 보고한 Kim and Lee(2003)를 따랐다. Kim and Lee(2003)의 종목록에 포함되지 않았거나 구분이 모호했던 종(예, *Eutintinnus fraknoi*, *E. stramentus*)의 경우는 Ota and Taniguchi(2003) 및 본 연구의 결과를 토대로 구분하여 분석을 실시하였다.

유충섬모충류 현존량과 환경요인들과의 연관성을 파악하기 위하여 상관분석 및 다중회귀분석[단계적 회귀(Stepwise regression), 최량부분집합회귀(Best subset regressions)]를 실시하였다(Minitab 통계분석 프로그램).

## 결 과

### 수온, 염분 및 엽록소-a

표층수온의 분포는 정점 1과 정점 2에서 각각 13.23~27.17(평균 18.20)°C와 14.23~29.60(평균 19.48)°C의 수온분포를 보였으며(Fig. 2), 정점 간 온도 차이는 정점 2에서 1~2도 높은 범위를 보였다. 정점 1에서는 8월부터 10월까지 24°C 이상의 고수온기가 관찰되었던 반면에, 정점 2에서는 이보다 약 한달 앞서 고수온기가 시작되어 10월까지 지속되었다. 전반적으로 수온의 수직분포는 저층으로 내려갈수록 낮은 경향을 보였으며, 6월부터 수온약층이 형성되기 시작하여 10월까지 지속되었고 수온약층이 형성되는 수심은 하계에서 추계로 갈수록 깊어지는 경향을 보였다.

표층염분의 분포는 정점 1과 2에서 각각 30.53~34.42(평균 33.31) psu와 30.09~34.47(평균 33.33) psu의 범위를 보여 정점 간 차이는 미약하였다(Fig. 3). 전반적으로 동계부터 춘계까지 전 수층에서 34 psu 이상의 염분농도를 보였으나 춘계부터는 34 psu 이하의 염분 분포를 보이기 시작하였고 이러한 시간적 변화양상은 정점 간 시간적 차이를 보였다. 7월부터 모든 정점에서 33 psu 이하의 저염 현상이 나타나기 시작하여 9월 말까지 지속되었으며, 이러한 시기

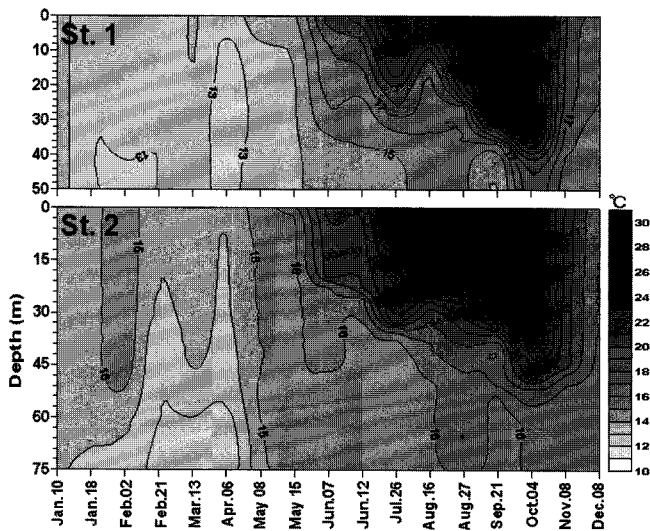


Fig. 2. Temporal variations of water temperature at each station.

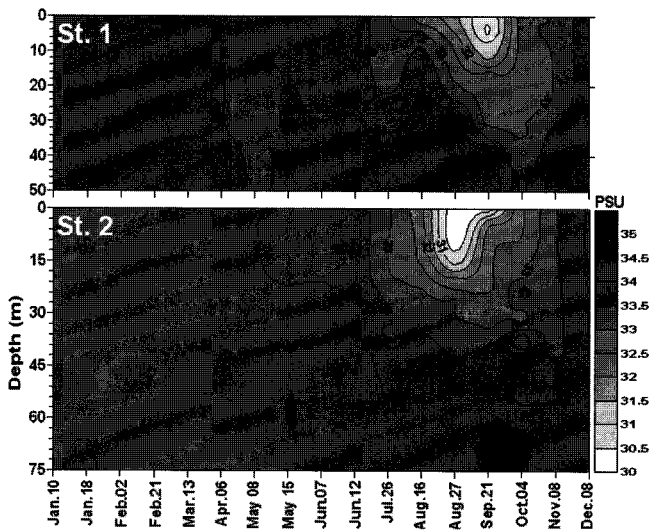


Fig. 3. Temporal variations of salinity (psu) at each station.

는 대체적으로 고수온이 관찰된 시기와 일치하였다. 염분의 수직 분포는 표층보다는 저층에서 높은 농도를 보였으며, 염분약층은 수온약층과 마찬가지로 하계에서 추계로 갈수록 깊어지는 경향을 보였다.

엽록소-a의 농도는 정점 1과 정점 2에서 각각 0.2~10.33(평균 1.69)  $\mu\text{g L}^{-1}$ 와 0.04~7.28(평균 0.95)  $\mu\text{g L}^{-1}$ 의 분포 범위를 보였으며, 정점 1에서 정점 2에 비하여 높았다(Fig. 4). 정점 1에서 최대 엽록소-a 농도를 보인 시기는 4월 6일 10m 수층과 8월 16일 표층에서 10  $\mu\text{g L}^{-1}$ 이상의 높은 농도를 보였다. 이 두시기의 엽록소 농도의 크기별 분포를 분석한 결과, 4월 6일의 경우는 소형식물플랑크톤의 엽록소 농도가 전체 농도의 약 62.5%(수층 평균)를 차지하여 우점하였고 미소 및 극미소 식물플랑크톤의 엽록소 농도는 각각 9.5%와 28%를 차지하였다. 반면 8월 16일의 경우는 소형식물플랑크톤, 미소식물플랑크톤과 극미소식물플랑크톤의 엽록소 농도의 비율은 각각 34.8%, 44.2%와 21.0%를 차지하여 우점 식물플랑크톤 군집이 다르게 나타났다. 또한 6월 7일 10m 수층에서

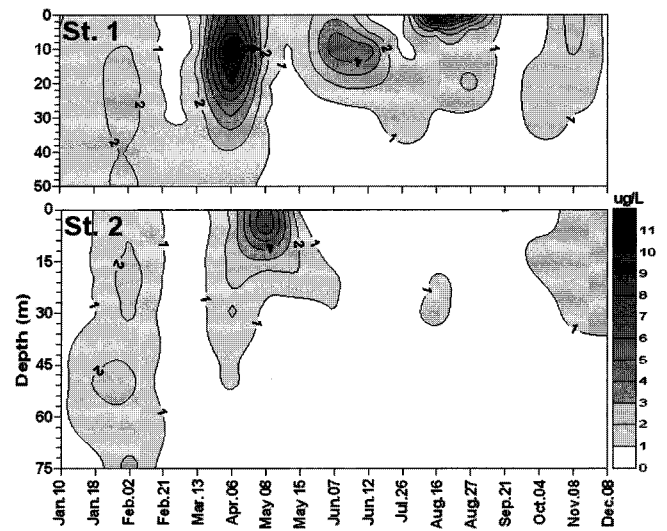


Fig. 4. Temporal variations of chlorophyll-a concentrations ( $\text{mg L}^{-1}$ ) at each station.

도 비교적 높은 농도(4.67  $\mu\text{g L}^{-1}$ )를 보였는데 이 시기에는 미소식물플랑크톤(54%)과 극미소식물플랑크톤(38%)이 우점하여 나타났다. 그 외 대부분의 시기에는 2  $\mu\text{g L}^{-1}$  이하의 낮은 농도를 보였다. 정점 2에서는 5월 8일 10m 이상 상층부에서 평균 6.2  $\mu\text{g L}^{-1}$  이상의 높은 엽록소-a 농도를 보였으며, 극미소식물플랑크톤이 전체 엽록소 농도의 약 69%를 차지하였고 다른 그룹은 각각 약 15%의 점유율을 보였다. 이 시기 이후 6월부터 고수온기가 끝나는 시기까지는 1  $\mu\text{g L}^{-1}$  이하의 상당히 낮은 농도를 보여 빈영양 수괴의 특성을 보였다.

**유중섬모충류의 종조성 및 현존량**

조사기간 동안 유중섬모충류는 총 22속 51종이 관찰되었으며 이중 연안종은 9속 27종, 외양종은 14속 24종이 관찰되었다(Table 1). 해안역에 위치한 정점 1에서는 22속 47종이 출현하여 정점 2(19속 41종) 보다 다소 많은 종들이 출현하였고 종조성 또한 정점 간 크게 다르게 나타났다. 월별 출현종수의 변화를 보면 두 정점 모두에서 6월까지의 10종 이하로 낮았다가 하계(7월)에 접어들면서 높은 출현종수를 보였고 동계로 접어들면서 다시 감소하는 경향을 보여 저염 및 고수온기에 많은 종들이 출현하였다(Fig. 5). 연안종은 모든 정점에서 연중 출현하여 높은 출현율을 보였던 반면에, 외양종은 1월부터 6월까지 비교적 낮은 출현종수를 보이다가 고수온기인 7월에서 11월까지 집중적으로 출현하여 높은 출현종수를 보였다. 이러한 출현종수의 변화는 수온과 염분의 변화와 유사한 양상을 보였으며 정점 1보다는 정점 2에서 먼저 출현종수의 증가가 관찰되었고 11월까지 증가현상을 볼 수 있었다.

출현빈도(17회 시료채취 중 6회 이상 출현)에 따른 우점종으로는 연안종 8종(*Codonellopsis morchella*, *Stenosemella nivalis*, *S. pacifica*, *S. ventricosa*, *Tintimidium balechii*, *Tintimopsis beroidea*, *T. parvula*, *T. radix*)과 외양종 3종(*Acanthostomella norvegica*, *Amphorellopsis acuta*, *Dadayiella ganymedes*)이 나타났다(Table 1). 연안종에서 *Stenosemella nivalis*와 *S. pacifica*는 조사기간 내 내 관찰되었으며, 정점 1과 2 모두에서 높은 출현빈도를 보여 최



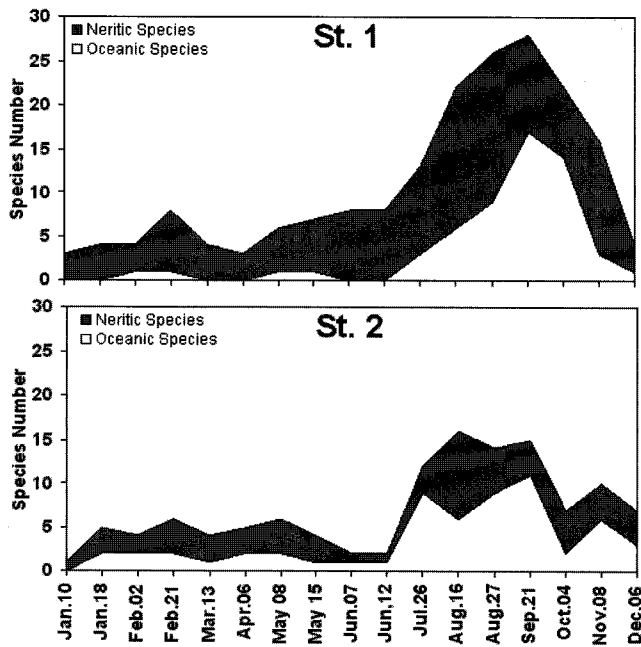


Fig. 5. Temporal variations of species numbers at each station.

우점종으로 나타났다. *Eutintinnus*와 *Tintinnopsis* 속에 속하는 종들과 *Favella ehrenbergi* 및 *Helicostomella subulata*는 하계와 추계에 집중적으로 출현하였던 반면 *Stenosemella ventricosa*는 동계와 춘계에만 출현하였다. 외양종에서는 *Dadayiella ganymedes*가 정점 1과 2에서 가장 높은 출현빈도(약 50%)를 보였다. *Amphorellopsis acuta*, *Epilpocyloides ralumensis*, *Protorhabdonella curta* 등과 같은 대부분의 외양종들은 시기적으로 저염 및 고수온기인 하계와 추계에 제한되어 출현하였다. *Acanthostomella norvegica*는 고수온기인 7월부터 시작하여 12월까지 출현하였으며 1월에도 출현하였다.

유중섬모충류 현존량은 정점 1과 2에서 각각 0~1,845(평균 166) cells L<sup>-1</sup>와 0~311(평균 42) cells L<sup>-1</sup>의 범위를 보였으며, 조사시기와 정점 및 수층 간에 큰 차이를 보였다(Figs. 6~7). 정점 1에서 유중섬모충류의 변화양상은 전체 현존량에서 높은 비율을 점유한 연안종의 현존량 변화양상과 유사하였다(Fig. 6). 연안종은 전반적으로 1월부터 7월까지 낮은 현존량을 보였고 주로 수심 30 m 이하의 수층에서 비교적 많이 출현하였다. 최대 현존량을 보였던 시기는 저염 및 고수온현상을 보인 8월로, 이전 시기와는 달리 표층부터 30 m 이내의 상층부에서 높은 현존량을 보였다. 외양종은 전반적으로 매우 낮은 현존량을 보였다가 고수온기인 8월 이후에 상층부에서 100 cells L<sup>-1</sup> 이상의 현존량을 보였다. 정점 2에서 전체 유중섬모충류의 현존량은 정점 1과는 달리 연안종과 외양종의 분포양상이 혼합된 형태로 나타났다. 즉, 1월부터 고수온기가 시작되기 전까지는 연안종의 분포양상을 따르다가, 고수온기 이후에는 외양종의 분포양상을 따랐다. 연안종의 분포는 1월부터 5월까지 정점 1과 유사하게 30 m 이하의 저층부에서 비교적 높은 현존량을 보였고 외양종은 30 cells L<sup>-1</sup> 이하의 매우 낮은 현존량을 보였다. 연안종은 고수온기인 8월부터 9월까지 이전시기와는 달리 표층과 중층부에서 비교적 높은 현존량을 보였다가 현저히 감소하였다. 반면 외양종은 저염 및 고수온기가 시작된 7월부터 현존

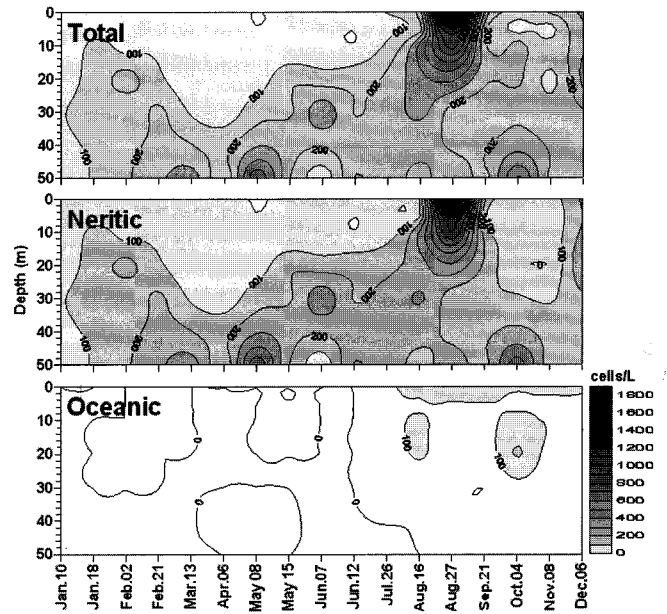


Fig. 6. Temporal variations of tintinnid abundance at the station 1.

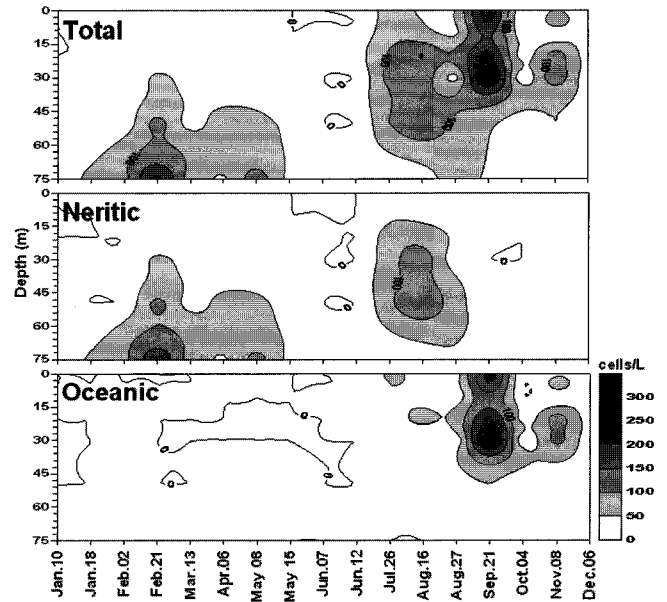


Fig. 7. Temporal variations of tintinnid abundance at the station 2.

량이 점차 증가하기 시작하여 9월에 30 m 수층에서 최대피크(311 cells L<sup>-1</sup>)를 보였고 11월까지 비교적 높은 현존량을 보였다. 수직별로 연안종은 수심 30 m 이하 수층에서 높은 현존량을 보였던 반면 외양종은 수심 30 m 이내의 상층부에서 높은 현존량을 보였다.

### 유중섬모충류와 환경요인과의 연관성

일반적으로 동·식물플랑크톤의 분포나 성장은 물리·화학적 환경요인뿐만 아니라 먹이원의 제한과 포식(top-down control)에 의해서 영향을 받는다. 본 연구에서도 유중섬모충류와 환경요인 및 먹이생물(엽록소-a)의 관계를 파악하고자 직접상관분석 및 다중회귀분석을 실시하였다. 직접상관분석결과 모든 정점에서 유중섬모충류의 현존량은 엽록소-a 농도와는 상관관계를 보이지 않았던 반

**Table 2.** Pearson's correlation coefficients between tintinnids and environmental factors

	Temperature	Salinity	T-Chl	M-Chl	N-Chl	P-Chl
St. 1						
TT	0.27**	-0.27**	-	-	-	-
NT	-	-	-	-	-	-
OT	0.78***	-0.72***	-	-	-	-
St. 2						
TT	0.35***	-0.40***	-	-	-	-
NT	-	-	-	-	-	-
OT	0.51***	-0.51***	-	-	-	-

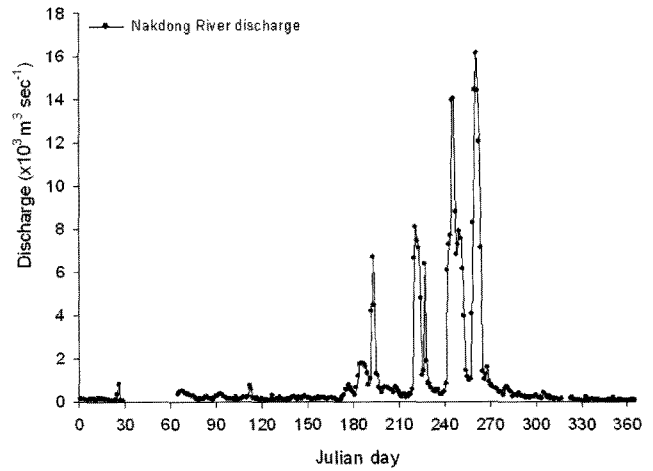
TT: Total tintinnid abundance, NT: Neritic tintinnid abundance, OT: Oceanic tintinnid abundance. Temp.: Temperature, Sal.: Salinity, T-Chl: Total chl-a, M-Chl: >20 µm chl-a, N-Chl: 3~20 µm chl-a, P-Chl: <3 µm chl-a, -: non significant. \*: p<0.05, \*\*: p<0.01, \*\*\*: p<0.001.

면에, 물리적 환경요인인 수온 및 염분과는 각각 양과 음의 유의한 상관성을 보였다(Table 2). 그리고 다중 회귀분석법 중 단계적 회귀분석(Stepwise regression analysis)결과 모든 정점에서 연안종은 환경요인들과 연관성을 보이지 않았던 반면에 외양종은 수온과 연관성을 보였다(정점 1:  $r^2=0.611$ ,  $T=12.54$ , 정점 2:  $r^2=0.260$ ,  $T=-6.40$ ). 전체 현존량은 수온 보다 염분도와 더 높은 연관성을 보였지만 상당히 낮았다(정점 1:  $r^2=0.075$ ,  $T=2.84$ , 정점 2:  $r^2=0.158$ ,  $T=4.69$ ). 최량부분집합회귀분석(Best subset regression analysis) 결과도 단계적 회귀분석 결과와 마찬가지로 모든 정점에서 연안종은 환경요인과 연관성을 보이지 않았고, 외양종은 수온 및 염분과 연관성을 보였다(정점 1:  $r^2=0.625$ ,  $s=30.67$ , 정점 2:  $r^2=0.260$ ,  $s=42.09$ ). 전체 현존량은 수온 및 염분과 미약한 연관성을 보였다(정점 1:  $r^2=0.062$ ,  $s=240.2$ , 정점 2:  $r^2=0.145$ ,  $s=53.72$ ).

### 고찰

대한해협은 우리나라와 일본으로부터 유입되는 연안수와 동중국해 해수(대륙연안수) 유입의 영향을 받아 하계와 추계에 표층에서 저염 해수가 형성된다(Shin et al., 2001; Yoon et al., 2007). 본 연구에서도 하계와 추계에 이러한 저염 현상이 관찰되었으며, 이러한 현상은 연안수 및 동중국해 해수의 세력에 따라 계절별 차이를 보이는 것으로 판단된다. 본 연구에서 나타난 이러한 현상은 지표 특성을 보이는 유충섬모충류 외양종의 출현 및 현존량 변화로 감지할 수 있었다. 이 시기에 출현한 여러 외양종(예, *Amphorellopsis acuta*, *Epiplocyloides ralumensis*, *Protorhabdonella curta*, *P. simplex*)은 하계에 동중국해(Ota and Takahashi, 2003) 및 동중국해의 영향을 받는 제주도 부근 해역(Kim and Lee, 2003)에서도 출현한 것으로 보고되었으며, 이중 *E. ralumensis*, *P. curta*와 *P. simplex*는 동해 영일만에서도 추계에 출현한 것으로 보고되었다(Yoo and Kim, 1990). 따라서 저염 시기에 이러한 종들의 출현 및 현존량의 증가를 근거로 본 연구수역에 동중국해 해수의 유입이 있었던 것으로 판단되며, 동중국해 해수가 제주도 연안과 대한해협을 지나 동해 연안까지 영향을 미치는 것으로 판단된다.

연안에서 출현하는 대표 속(genus)인 *Stenosemella*에 속한 종들



**Fig. 8.** The Nakdong River floodgate discharge in 2007.

을 비롯하여 총 27종의 연안종이 전 기간에 걸쳐서 출현하였던 것으로 보아 연구해역은 2007년 연중 연안수의 영향권에 있었던 것으로 판단된다. 또한 이들 연안종의 현존량은 하계로 갈수록 증가하는 경향을 보였는데 이는 하계와 추계의 경우 장마전선의 영향으로 대한해협 인근의 낙동강(Fig. 8)으로부터 많은 양의 담수가 연안으로 유입(낙동강 방류량과 표층 염분의 상관계수,  $r=-0.674$ ,  $p<0.01$ )되어 연안수의 세력이 대한해협까지 영향을 미치었기 때문인 것으로 판단된다.

외양종은 동계나 춘계보다는 저염 및 고수온기인 하계와 추계에 집중적으로 출현하였다. 동중국해(Takashi and Taniguchi, 2003)와 제주도 인근해역(Kim and Lee, 2003)에서도 외양종의 출현종수가 하계와 추계에 증가하였던 것으로 보고되었으며 출현종수는 각각 38종과 31종을 기록하여 본 연구보다는 다소 높게 나타났다. 출현종수의 차이는 연구해역인 대한해협이 다른 조사 해역 보다 북쪽에 위치하여 대마난류의 영향을 훨씬 적게 받았기 때문인 것으로 판단된다. 대한해협에서 외양종의 수직 분포는 대부분 수온약층이 형성되는 수심보다 얇은 30 m 이내의 상층부에서 분포하는 경향을 보였으며, 이와 유사한 결과로 Takashi and Taniguchi(2003)는 동중국해에서 수온약층이 형성되는 50 m 이내의 수심에서 외양종의 주된 분포를 보고하였다. 또한 외양종으로써 대표적인 냉수종으로 알려진 *Acanthostomella norvegica* (Yoo and Kim, 1990; Kato and Taniguchi, 1993; Pierce and Turner, 1993; Gómez, 2007)가 7월부터 1월까지 출현하여 대마난류의 유입이 있었던 시기에 냉수의 유입도 있었던 것으로 판단되었지만 이 종이 관찰된 수층의 수온 분포를 통해서도 뚜렷한 한류의 유입을 감지할 수 없었다. 하지만 본 연구결과와 같이 Kim and Lee(2003)는 제주도 인근 해역에서 대마난류의 영향력이 강했던 하계와 추계에 *Acanthostomella norvegica*의 출현을 보고하였다. 또한 대한해협에서 한류성 요각류인 *Metridia pacifica*의 출현을 통해서 대한해협에서는 겨울보다는 여름철에 저온수의 영향이 더 크다는 보고(Lee et al., 1999)가 있었고 대한해협에 저층 냉수가 존재한다는 많은 연구(e.g., 김, 2002; Lim and Chang, 1969; An, 1974; Cho and Kim, 1998; 김과 이, 2004)들이 있었다. 저층냉수의 기원은 명확하게 알려지지 않았지만 김과 이(2004)는 대한해협의 저층냉

수는 동해고유수, 동해중층수와 쓰시마중층수가 혼합되어 발생하는 것으로 추정하였다. 이러한 다양한 연구결과들은 본 연구의 결과를 충분히 뒷받침하고 있다.

연구해역의 유중섬모충류의 현존량은 0~1,845 cells L<sup>-1</sup>로 제주도 인근해역에서의 100~5,400 cells L<sup>-1</sup>(Kim and Lee, 2003)과 경기만에서의 170~12,480 cells L<sup>-1</sup>(Lee, 1993) 보다 상당히 낮게 나타났다. 이러한 차이는 본 연구가 다른 연구에 비해 먹이원이 적은 외양역 쪽에서 실시되었기 때문인 것으로 사료된다. 일반적으로 유중섬모충류의 먹이원인 식물플랑크톤(Rassoulzadegan *et al.*, 1988; Bernard and Rassoulzadegan, 1993; Karayanni *et al.*, 2005; Gavrilova and Dolan, 2007)은 무기물 및 유기물 농도가 높은 연안역에 많이 분포하는 관계로 유중섬모충류도 외양역에 비해 연안역에서 높은 현존량을 보인다. 따라서 유중섬모충류는 식물플랑크톤(엽록소-a)과 밀접한 관계를 보이는 것으로 보고(e.g., Balkis, 2004)되기 때문에 본 연구에서도 높은 상관성을 기대하였지만 정점 1 및 정점 2 모두에서 아무런 상관성을 찾지 못하였다. 반면에 직접 상관분석 및 다중회귀분석 결과 유중섬모충류(특히, 외양중)은 두 정점 모두에서 수온 및 염분과 유의한 상관성을 보였다. 결론적으로, 본 연구해역에서 유중섬모충류(특히, 외양중) 현존량 분포는 먹이원인 식물플랑크톤 보다는 수온이나 염분과 같은 물리적 요인들에 의해서 주된 영향을 받는 것으로 판단된다. 또한 본 연구해역에서 유중섬모충류 출현 특성을 통하여 하계와 추계에 고온 및 고염의 대마난류가 동중국해에서 대륙연안수와 혼합한 후 넓은 범위로 확장되어 제주도를 지나 대한해협을 거쳐 동해 연안으로 유입되고 연안수와 한류 유입의 영향도 받고 있다는 것을 추정할 수 있었다. 결국 이러한 연구해역의 복잡한 해황이 유중섬모충류의 종조성 및 현존량 분포에 큰 영향을 주었던 것으로 파악되었다.

## 감사의 글

본 연구는 한국해양연구원 과제(PP00690)의 지원으로 수행되었다. 저자는 한국해양연구원 남해연구소의 신경순 박사, 김영옥 박사, 생물팀원과 본 논문의 심사위원들께 감사드린다.

## 참고문헌

- 김윤배, 2002. 대한해협 저층냉수의 시공간 변동성 연구. 석사학위논문, 부산대학교.
- 김일남, 이동섭, 2004. 하계 대한해협 저층냉수의 물리화학적 특성 및 기원. *Ocean and Polar Research*, **26**: 595-606.
- Alder, V.A., 1999. Tintinninea, In: South Atlantic zooplankton Vol 1, edited by Boltovskoy, D., Backhuys Publishers, pp. 321-384.
- An, H.S., 1974. On the cold water mass around the 내소-east coast of Korean peninsula. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, **9**: 10-18.
- Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, J.S. Gray, I.A. Meyer-Reil and F. Thingstad, 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **10**: 257-263.
- Balech, E., 1972. los Tintinnidos indicadores de afloramientos de aguas (Ciliata). *Physis*, **31**: 519-528.
- Balkis, N., 2004. Tintinnids (Protozoa: Ciliophora) of the Büyükkçekmece Bay in the Sea of Marmara. *Sci. Mar.*, **68**: 33-44.
- Bernard, C. and F. Rassoulzadegan, 1993. The role of picoplankton (cyanobacteria and plastidic picoflagellates) in the diet of tintinnids. *J. Plankt. Res.*, **15**: 361-373.
- Campbell, A.S., 1942. The Oceanic Tintinnina of the Plankton Gathered During the last Cruise of the Carnegie. Carnegie Inst. of Wash., **537**: i-v, 163pp.
- Cho, Y.K. and K. Kim, 1998. Structure of the Korea Strait Bottom Cold Water and its seasonal variation in 1991. *Contin. Shelf Res.*, **18**: 791-804.
- Dolan, J.R. and C. Marassé, 1995. Planktonic ciliate distribution relative to a deep chlorophyll maximum: Catalan Sea, NW Mediterranean, June 1993. *Deep-Sea Res.*, **42**: 1965-1987.
- Dolan, J.R. and E. Vidussi, and H. Claustre, 1999. Planktonic ciliates in the Mediterranean Sea: longitudinal trends. *Deep-Sea Res.*, **46**: 2025-2039.
- Dolan, J.R., 2000. Tintinnid ciliate diversity in the Mediterranean Sea: longitudinal patterns related to water column structure in late spring-early summer. *Aquat. Microb. Ecol.*, **22**: 69-78.
- Gavrilova, N. and J. R. Dolan, 2007. A note on species lists and ecosystem shifts: Black Sea tintinnids, ciliates of the microzooplankton. *Acta Protozool.*, **46**: 279-288.
- Gómez, F., 2007. Trends on the distribution of ciliates in the open Pacific Ocean. *Acta Oecologica.*, **32**: 188-202.
- Gonzalez, J.E., E.B. Sherr and B.F. Sherr, 1990. Size-selective grazing on bacteria by natural assemblages of estuarine flagellates and ciliates. *Appl. Environ. Microbiol.*, **56**: 583-589.
- Hada, Y., 1932a. Description of two new neritic Tintinninea, *Tintinnopsis japonica* and *Tps. kofoidi* with a brief Note on a unicellular Organism parasitic on the latter. *Proc. Imp. Acad.*, **8**: 209-212.
- Hada, Y., 1932b. The Tintinninea from Sea of Okhotsk and its neighbourhood. *J. Fac. Sci. Hokkaido Imp. Univ.*, Ser. 4, **2**: 37-59.
- Hada, Y., 1932c. Report of the biological survey of Mutsu Bay, 26. The pelagic Ciliata, suborder Tintinninea. *Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ. 4th Ser., Biol.*, **7**: 553-573.
- Hada, Y. 1935. On the pelagic ciliata, Tintinninea, from the East Indies with considerations on the character of the plankton in the seas. (Japanese with English synopsis). *Bull. Japanese Soc. Sci. Fish.*, **4**: 242-252.
- Hada, Y., 1937. The fauna of Akkeshi Bay. IV. The pelagic Ciliata. *J. Far. Sci. Hokkaido Imp. Univ. Ser. 4, Zool.*, **5**: 143-216.
- Hada, Y., 1938. Studies on the Tintinninea from the western tropical Pacific. *J. Fac. Sci. Hokkaido Imp. Univ. Ser. 6, Zool.*, **6**: 87-190.
- Hada, Y., 1957. The Tintinninea, useful microplankton for judging oceanographical conditions. *Inform. Bull. Planktol. Japan*, **5**: 10-12.
- Jeong, H.J., 1988. An Ecological Study on Marine Tintinnids (ciliated protozoa; Order Tintinnida) in Cheonsu Bay, Korea. Ms.D. Thesis, Seoul National University, Seoul., 60pp.
- Karayanni, H., U. Christaki, F. Van Wambeke, M. Denis, and T. Moutin, 2005. Influence of ciliated protozoa and heterotrophic nanoflagellates on the fate of primary production in the northeast Atlantic Ocean. *J. Geophys. Res-Oceans*, **110**(C7) No. C07S1.
- Kato, S. and A. Taniguchi, 1993. Tintinnid ciliates as indicator species of different water masses in the western North Pacific Polar

- Front. Fish. Oceanogr., **2**: 166–174.
- Kim, Y.-H. and J.-B. Lee, 2003. Seasonal variations and species composition of planktonic ciliates in the southern coastal waters of Jesu island, Korea. *The Sea* J. Korean Soc. Oceanogr., **8**: 59–69.
- Kofoid, C.A. and A.S. Campbell, 1929. A conspectus of the marine and freshwater ciliata belonging to the suborder Tintinnoinea, with descriptions of new species principally from the Agassiz Expedition to the Eastern tropical Pacific 1904–1905. Univ. California Publ. Zool., **34**: 1–403.
- Kofoid, C.A. and A.S. Campbell, 1939. Reports on the scientific results of the expedition to the Eastern tropical Pacific in charge of Alexander Agassiz., by U.S. Fish Commission Steamer “Albatross”, From October, 1904, to March, 1905. The Ciliata: the Tintinnoinea. Bull. Mus. Comp. Zool., **84**: 1–473.
- Lee, C.R., P.G. Lee and C. Park, 1999. Seasonal and vertical distribution of planktonic copepods in the Korea Strait. J. Korean Fish. Soc., **32**: 525–533.
- Lee, J.B. and Y.H. Kim, 1999. Distribution of tintinnids in the south Korean waters, the East Sea, and the East China Sea in the summer of 1998. Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat. Univ., **23**: 29–37.
- Lee, J.B. and Y.H. Kim, 2000. Taxonomical descriptions of planktonic ciliates in the southwestern coastal waters, the East China Sea and Yellow Sea. Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat. Univ., **24**: 55–77.
- Lee, J.B. and Y.H. Kim, 2010. Distribution of Tintinnids (Loricated Ciliates) in East Asian Waters in Summer, Coastal Environmental and Ecosystem Issues of the East China Sea, pp.173–180, 2010.
- Lee, W.J., 1993. The study on the role of planktonic protozoa in the pelagic ecosystem of Kyonggi Bay, Korea. Ms.D. Thesis, Inha University, Incheon, 81pp.
- 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.
- Lim, D.B. and S.D. Chang, 1969. On the cold water mass in the Korea Strait. J. Oceanol. Soc. Kor., **4**: 71–82.
- Marshall, S.M., 1969. Protozoa, order Tintinnia. Conseil International pour L’Exploration de la Mer, Fiches d’Identification de Zooplancton, 117–127.
- Modigh, M. and S. Castaldo, 2002. Variability and persistence in tintinnid assemblages at a Mediterranean coastal site. Aquat. Microbiol. Ecol., **28**: 299–311.
- Moriyasu, S., 1972. Hydrography of the Japan Sea. Mar. Sci., **4**: 27–33.
- Ota, T. and A. Taniguchi, 2003. Standing crop of planktonic ciliates in the East China Sea and their potential grazing impact and contribution to nutrient regeneration. Deep-Sea Res., **50**: 423–442.
- Parson, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli, 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford, 173pp.
- Pierce, R.W. and J.T. Turner, 1992. Ecology of planktonic ciliates in marine food webs. Rev. Aquat. Sci., **6**: 139–181.
- Pierce, R.W. and J.T. Turner, 1993. Global biogeography of marine tintinnids. Mar. Ecol. Prog. Ser., **94**: 11–26.
- Porter, K.G., M.L. Pace and J.F. Battey, 1979. Ciliate protozoans as links in freshwater planktonic food chains. Nature, **277**: 563–565.
- Rassoulzadegan, F., 1979. Evolution annuelle des cilies pelagiques en Mediterranee nord-occidentale. II. Cilies oligotriches. Tintinnides (Tintinnina). Inv. Pesq., **43**: 417–448.
- 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.
- Sherr, B.F. and E.B. Sherr, 2000. Marine microbes: an overview. In: Microbial Ecology of the Oceans, edited by Kirchman, D., Wiley-Liss, New York, pp.13–46.
- Shin, H.R., S.C. Hwang and C.H. Kwak, 2001. Seasonal Distribution of Oceanic Conditions and Water Mass in the Korea Strait and the East China Sea: Correction of Atmosphere Cooling Effect. J. Kor. Ear. Sci. Soc., **22**: 47–64.
- Shon, D.H., K. Shin, P.G. Jang, Y.O. Kim, M. Chang and W.S. Kim, 2008. Effects of thermal stratification and mixing on phytoplankton community structure in the western channel of the Korea Strait. Ocean and Polar Res., **30**: 261–275.
- Stelfox, C.E., P.H. Burkill, E.S. Edwards, R.P. Harris and M.A. Sleight, 1999. The structure of zooplankton communities, in the 2–2000  $\mu\text{m}$  size range, in the Arabian Sea during and after the SW monsoon, 1994. Deep-Sea Res., **46**: 815–842.
- Taniguchi, A., 1997. Suborder Tintinnina. In: An illustrated guide to marine plankton in Japan, edited by Chihara, M. and M. Murano, Tokai Univ. Press, Japan, pp. 421–483.
- Takashi, O. and A. Taniguchi, 2003. Standing crop of planktonic ciliates in the East China Sea and their potential grazing impact and contribution to nutrient regeneration. Deep-Sea Res., **50**: 423–442.
- Thompson, G.A., V.A. Alder, D. Boltovskoy and F. Brandini, 1999. Abundance and biogeography of tintinnids (Ciliophora) and associated microzooplankton in the Southwestern Atlantic Ocean. J. Plankt. Res., **21**: 1265–1298.
- Yoo, H.B. and S.S. Park, 2001. Seasonal dynamics and community structure of Tintinnina in lower Seomjin River System. Korean J. Environ. Biol., **19**: 25–36.
- Yoo, K.I. and Y.O. Kim, 1990. Taxonomical studies on tintinnids (Protozoa: Ciliata) in Korean coastal waters.2. Youngil Bay. Korean J. Syst. Zool., **6**: 87–122.
- Yoo, K.I., Y.O. Kim and D.Y. 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 J.B. Lee, 1987. On the trophic correlation between tintinnids and dinoflagellates in Masan Bay, Korea. Bull. Korean Fish. Soc., **20**: 230–236.
- Yoon, Y.Y., S.S. Jung and S.C. Yoon, 2007. Characteristics and long term variation trend of water mass in the coastal part of East Sea, Korea. J. Korea Soc. for Mar. Environ. Engin., **10**: 59–65.
- Verity, P.G., 1987. Abundance, community composition, size distribution and production rates of tintinnids in Narragansett Bay, Rhode Island. Estuar. Coast. Shelf Sci. **20**: 671–690.
- Zeitzechel, B., 1982. Zoogeography of pelagic marine protozoa. Ann. Inst. Océanogr. Paris, **58(S)**: 91–116.

2010년 9월 14일 원고접수

2010년 10월 18일 수정본 채택

담당편집위원: 이준백