

〈Original article〉

한국의 4개 주요항만(부산, 울산, 광양, 인천)에 분포하는 섬모충 플랑크톤의 계절동태 특성

양 승 우 · 이 준 백* · 김 영 옥¹

제주대학교 해양과학대학 지구해양학과,

¹한국해양과학기술원 생태기반연구센터

Characteristic of Seasonal Dynamics of Planktonic Ciliates at Four Major Ports (Busan, Ulsan, Gwangyang and Incheon), Korea

Seung-Woo Yang, Joon-Baek Lee* and Young-Ok Kim¹

Department of Earth and Marine Sciences, College of Ocean Sciences,
Jeju National University, Jeju 63243, Republic of Korea

¹Marine Ecosystem and Biological Research Center,
Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan 49111, Republic of Korea

Abstract - Planktonic ciliates play an important role in the food web of marine ecosystem as well as a bio-indicator for invasive species from ballast waters or from changing flow of ocean currents due to climate changes. This study was carried out to find some evidences for introduction of such invasive species using ciliate plankton in four major international ports of Korea. We surveyed the seasonal species composition of planktonic ciliate to find out the evidence for the invasive species at Busan, Ulsan, Gwangyang and Incheon ports from February 2007 to November 2008. A total of 45 ciliates species, belonging to 15 genera, were identified during the study period: 33 species occurred at Busan, 31 at Gwangyang, 30 at Ulsan, 18 at Incheon. The abundance of naked ciliates ranged from 566 to 65,151 cells L⁻¹ and that of tintinnids 10 to 5,973 cells L⁻¹. Based on vector species of ciliates reported from Coos Bay in Oregon, 13 vector species of tintinnids were identified as follows, *Eutintinnus lususundae*, *E. tubulosus*, *Favella ehrenbergii*, *F. taraikaensis*, *Helicostomella subulata*, *Stenosemella nivalis*, *Tintinnopsis ampla*, *T. beroidea*, *T. cylindrica*, *T. directa*, *T. lohmanni*, *T. radix*, *T. rapa*. All vector species occurred at Gwangyang port. Most tintinnids were mainly neritic species throughout the survey, while warm water species occurred only in short period at Busan, Ulsan and Gwangyang ports that might be affected seasonally by Tsushima warm current.

Keywords : ballast water, ciliate, invasive species, tintinnid, vector species

서 론

해양생태계의 먹이망은 매우 다양한 종류의 생물에 의해 복잡하게 구성되어 있으며, 새로운 에너지 흐름 형태인 미세

* Corresponding author: Joon-Baek Lee, Tel. 064-754-3435,
Fax. 064-754-2461, E-mail. jblee@jejunu.ac.kr

생물고리 (microbial loop)에서 미소플랑크톤 (nanoplankton)과 초미소플랑크톤 (picoplankton)의 중요성이 부각되면서 더욱 복잡한 구조로 되어 있음이 밝혀졌다 (e.g., Pomeroy 1974; Kim and Lee 2003). 이러한 미세생물고리에서 소형동물플랑크톤 (micro-zooplankton)인 섬모충플랑크톤 (ciliate plankton)은 동물플랑크톤의 먹이원 그리고 미소식물플랑크톤 (nano-phytoplankton)의 포식자로서 두 생물그룹의 중간 단계에서 효율적으로 에너지를 전달해 주는 중요한 역할을 담당하고 있다. 또한, 대사율과 섭식율은 같은 크기의 후생 부유동물보다 높아 해양 생태계의 중요한 구성자로 인식되고 있다 (Pierce and Turner 1992).

해양의 부유섬모충은 체세포만으로 이루어진 무각섬모충 (naked ciliates)과 키틴질 (chitin-like substance)의 껍데기 (lorica, 종피 또는 피갑)를 갖는 유충섬모충 (loricate ciliates 또는 tintinnids)으로 구분된다. 무각섬모충은 세포의 연약한 특성 때문에 이들의 채집과 분리 및 동정은 다른 그룹의 플랑크톤에 비해 많은 어려움이 있지만 유충섬모충은 타 섬모충에 비해 세포의 고정 수월하며 피갑이 견고하고, 여러 가지 이물질을 각의 외부에 부착시키기도 하는데 종에 따라

일정한 형태적 특징을 가지고 있어 비교적 동정이 용이하다 (Kofoid and Campbell 1929, 1939). 또한 수괴의 특성에 따라서 분포하는 종이 뚜렷한 차이를 보이기 때문에 오래 전부터 수괴지표종으로 보고되었다 (e.g., Hada 1957; Kim *et al.* 2007a).

우리나라 항만을 중심으로 한 식물플랑크톤과 섬모충 플랑크톤은 매우 제한적으로 이루어졌다. 경기만을 중심으로 Choi and Shim (1986)이 식물플랑크톤 동태를 보고한 이후, 인천항에서 Yoo *et al.* (1992)와 Yoo and Lee (1997)의 식물플랑크톤 동태, Koh *et al.* (1997)의 macrofoula 동태가 이루어졌고, Seo *et al.* (2009)가 인천항과 부산항의 macro-zoobenthos 동태가 보고되었고, Kang (2010)이 광양만에서 야광충의 분포 특성을 보고하였지만, 그 외 다른 항만에 대한 보고는 미비한 실정이다. 더욱이 ciliate plankton의 동태 연구는 새만금 주변 (Jeong *et al.* 2002)과 대한해협 (Han and Lee 2010)에서 이루어졌으며, Yang and Choi (2007)의 인천 주변해역 식물플랑크톤과 종속영양 원생동물의 동태 연구, Kim *et al.* (2012)의 한국연안 난류종 (유충섬모충)의 모니터링에 대한 연구가 있지만 미비한 실정이다.

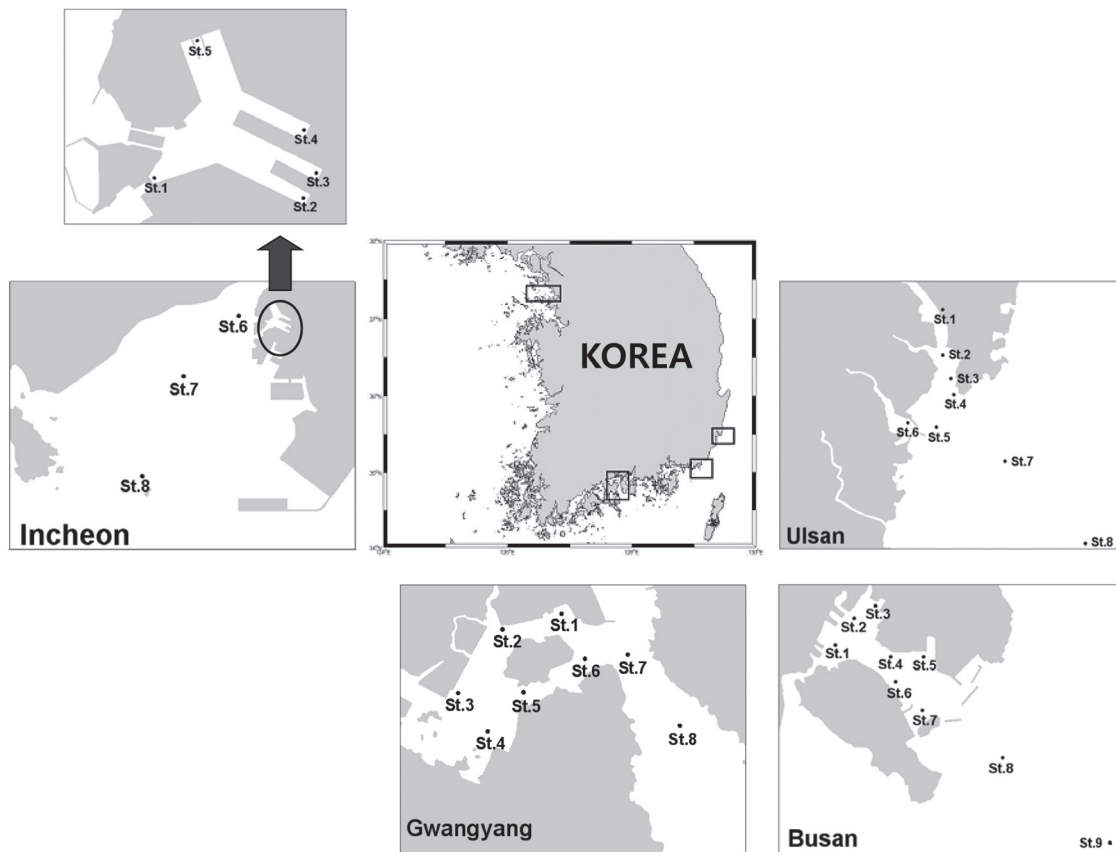


Fig. 1. Maps showing the sampling stations in Busan, Ulsan, Gwangyang and Incheon ports.

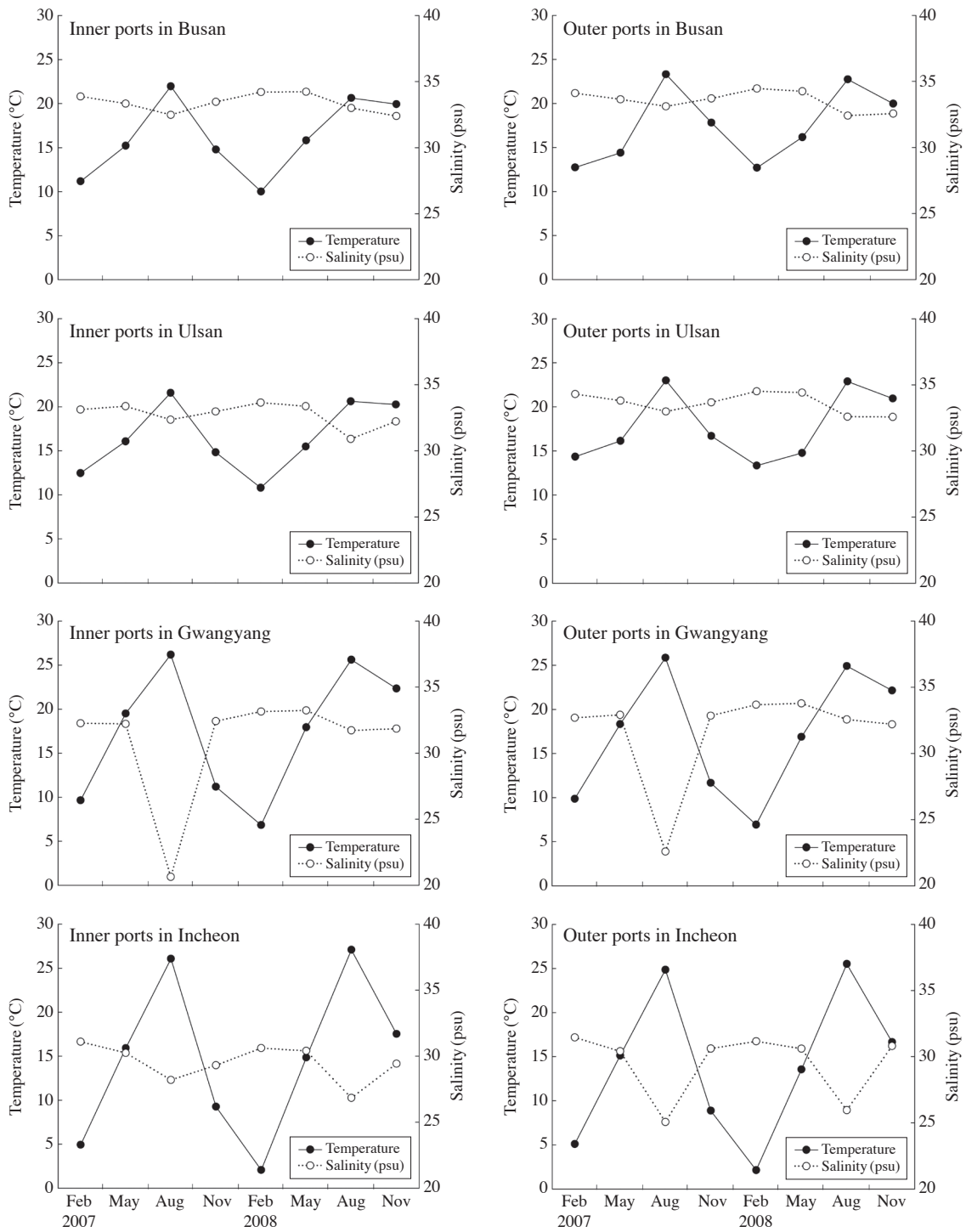


Fig. 2. Seasonal variations in average water temperature and average salinity at inner and outer ports of Busan, Ulsan, Gwangyang and Incheon from Feb. 2007 to Nov. 2008.

현재 우리나라 국제 항만은 잦은 외국 선박의 왕래에 따른 선박평형수에 의한 유입종이 우려되는 상황에서 이에 대한 연구가 시급한 실정이다 (KORDI 2009). 미국의 오레곤

Coos Bay의 항만 내에 분포하는 유충섬모충류의 종과 선박 평형수 내에서 관찰된 유충섬모충류의 종을 비교 분석한 결과, 일부 유충섬모충류를 선박평형수에 의한 벡터생물(이하

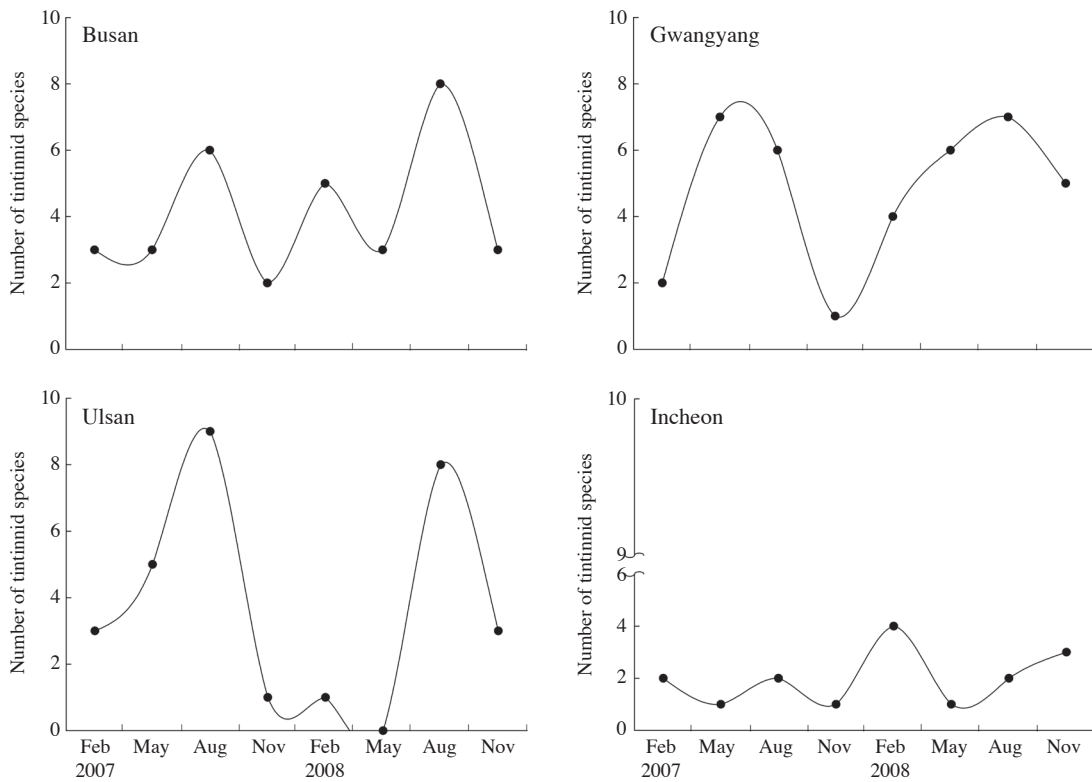


Fig. 3. Seasonal variations in vector species number of tintinnids at Busan, Ulsan, Gwangyang and Incheon ports from Feb. 2007 to Nov. 2008.

벡터종)로 보고되었다(Pierce *et al.* 1997; KORDI 2009). 따라서 본 연구에서는 선박의 출입이 많은 국내의 4개 주요 항만(부산항, 울산항, 인천항, 광양항)에 분포하는 유충섬모충류의 계절적 출현양상과 선박평형수 벡터종(Coos Bay 벡터종 기준)의 계절적 출현양상을 조사하였다.

재료 및 방법

본 연구는 부산항 내 9개 정점(내항에 7개 정점, 외항에 2개 정점), 울산항 8개 정점(내항에 6개 정점, 외항에 2개 정점), 인천항 8개 정점(내항에 5개 정점, 외항에 3개 정점), 광양항 8개 정점(내항에 7개 정점, 외항에 1개 정점), 총 33개 정점에서 2007년 2월부터 2008년도 11월까지 2년 동안 각 연도의 2월, 5월, 8월, 11월 총 8회 계절별로 수행되었다(Fig. 1). 해수 시료는 van Dorn 채수기를 이용하여 표층에서 채수되었으며 수온 및 염분은 CTD(Ocean Seven 319, Idronaut Co. Italy)를 이용하여 현장에서 수심 0.5m에서 측정하였다.

섬모충플랑크톤 분석을 위해 500 mL PE(Polyethylene) 병

에 해수 시료 500 mL를 채수한 후 선상에서 루골용액(Lugol solution, 최종 농도 0.8%)으로 고정하고 실험실로 운반하였으며, 운반된 시료는 24시간 이상 실험실에서 침전시킨 후 10 mL로 농축하였다. 농축된 시료는 현미경 관찰을 위해 균일하게 섞은 후에 Sedgwick-Rafter 계수판에 1 mL을 넣고 광학현미경(Axioplan 2, Carl Zeiss, Oberkochen, Germany) ×200 배율에서 계수한 후 단위 체적 당 세포수(cells L⁻¹)를 현존량으로 환산하였다. 유충섬모충플랑크톤의 정성분석은 농축된 시료 적당량을 슬라이드 글라스 위에 놓고 ×400~×1,000 배율에서 실시하였다. 유충섬모충류 종동정은 피갑(lorica)의 형태를 분류형질(key character)로 사용하였고 Kofoid and Campbell (1929, 1939), Hada (1932a, b, c, 1935, 1937, 1938) 등의 참고문헌을 이용하였다. 유충섬모충의 수 피지표종 선별은 Hada (1932a, b, 1935, 1937, 1938), Pierce and Turner (1993)의 문헌을 참고하였으며, 난류종(Warm water species), 연안종(Neritic species), 범세계종(Cosmopolitan species)으로 구별하였다. 유충섬모충류의 벡터종은 미국 오레곤주 Coos Bay에서 보고된 벡터종 기준을 적용하였으며(Pierce *et al.* 1997), 이명(synonym 이하 syn)은 Jung *et al.* (2017)의 checklist를 참조하여 정리하였다. 유충섬모충류

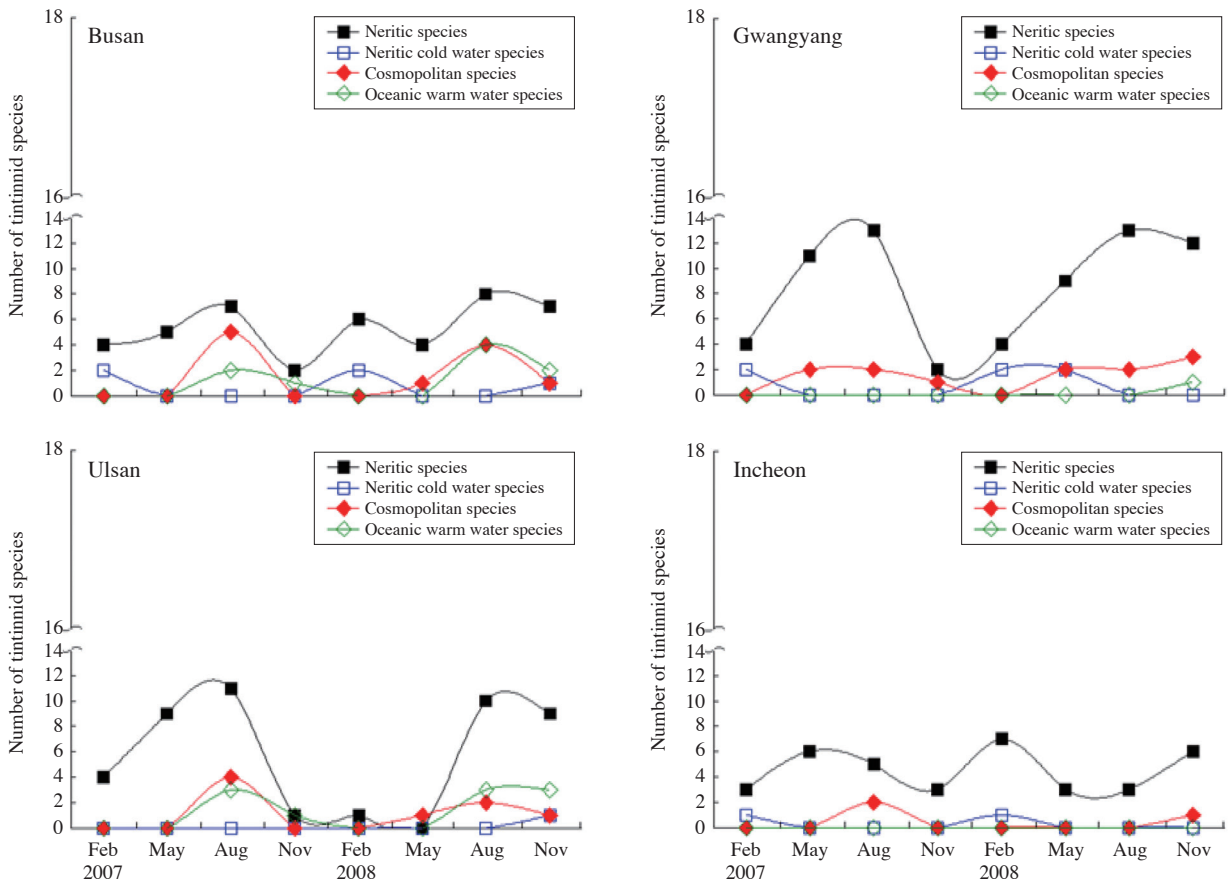


Fig. 4. Seasonal variations in species number of tintinnid by ecological characteristics at Busan, Ulsan, Gwangyang and Incheon ports from Feb. 2007 to Nov. 2008.

와 환경요인들과의 상관관계를 분석하기 위하여 SPSS 12 통계분석 프로그램을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 수온 및 염분

최고 수온은 2007년 8월 광양항과 2008년에 8월 인천항에서 각각 26.1°C와 26.4°C를 기록했고 최저 수온은 2007년 2월과 2008년 2월 인천항에서 각각 4°C와 2°C로 측정되었다. 특히 인천항은 2월 수온이 다른 항에 비해 5~9°C 낮았다(Fig. 2). 여름철 정점별 수온 변화는 부산항과 울산항에서 내항의 수온이 높았으나, 인천항과 광양항은 외항의 수온이 더 높아 항만 간 차이를 보였다(Fig. 2). 그러나 겨울철에는 부산항과 울산항에서 외항이 내항보다 높은 수온을 보였고, 인천항은 외항이 내항보다 낮은 수온을 보였다. 광양항은 전 정점에서 일정한 수온을 보여 계절별로 다른 차이를 보였다.

염분은 강우량이 많은 여름철에 낮은 반면, 저수온기에 높아 계절에 따른 수온과 음의 상관성을 보였다(Fig. 2). 정점별로는 부산항, 울산항, 광양항에서 전 계절에 걸쳐 내항보다 외항에서 더 높은 염분 농도를 보였으나, 2008년 8월 인천항은 내항이 외항보다 5 psu 정도 높았다(Fig. 2). 2007년 8월 광양항과 2008년 8월 인천항에서 각각 20.8 psu와 26.5 psu으로 낮은 염분이 측정되었으며 이 시기 강우에 의한 담수의 유입을 받고 있었다. 동계에는 저수온을 보이면서 염분은 점차 증가하여 2007년 2월과 2008년 2월 부산항에서 각각 33.9 psu와 34.2 psu의 최고 값을 보였다(Fig. 2).

2. 유종섬모충류 선박평형수 벡터종의 동태

조사기간 중 동정된 유종섬모충은 총 45종으로 부산항에서 33종으로 가장 많았고, 인천항이 18종으로 가장 적었고 광양항은 31종, 울산항은 30종이 출현하였다(Tables 1~4). 이들 유종섬모충 출현종 중에서 선박평형수에 의한 벡터종(Coos Bay 기준)은 *Eutintinnus lususundae*, *E. tubulosus*,

Table 1. Seasonal occurrence of tintinnids at Busan Port in 2007 and 2008 (CS; cosmopolitan species, WS; warm water species, NS; neritic species). Species in bold are vector species recorded in Coos Bay, Oregon, USA

Species name	Ecological characteristic	2007				2008			
		Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.
<i>Amphorellopsis acuta</i>	CS			*				*	*
<i>Amphorides amphora</i>	CS			*					
<i>Ascampbeliella urceolata</i>	WS				*				
<i>Codonellopsis morchella</i>	WS								*
<i>Codonellopsis nipponica</i>	NS							*	
<i>Codonellopsis ostenfeldi</i>	WS								*
<i>Dadayiella ganymedes</i>	WS			*				*	
<i>Epiplocyloides ralumensis</i>	WS			*				*	
<i>Eutintinnus lususundae</i>	CS			*				*	
<i>Eutintinnus stramentus</i>	WS							*	
<i>Eutintinnus tubulosus</i>	CS			*				*	
<i>Helicostomella subulata</i>	NS			*		*		*	
<i>Protorhabdonella curta</i>	WS							*	
<i>Salpingella laminata</i>	CS							*	
<i>Salpingella subconica</i>	CS			*					
<i>Stenosemella nivalis</i>	NS	*	*		*	*		*	
<i>Stenosemella pacifica</i>	CS						*		
<i>Tintinnidium primitivum</i> = syn <i>T. balechi</i>	NS		*			*			*
<i>Tintinnidium mucicola</i>	NS	*	*			*	*		
<i>Tintinnopsis baltica</i>	NS (cold water)	*				*			
<i>Tintinnopsis beroidea</i>	NS	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Tintinnopsis campanula</i> = syn <i>T. butschlii</i>	NS			*				*	
<i>Tintinnopsis cylindrica</i>	NS		*				*	*	
<i>Tintinnopsis dadayi</i> = syn <i>T. directa</i>	NS			*				*	
<i>Tintinnopsis lohmanni</i>	NS (cold water)	*				*			*
<i>Tintinnopsis neriticus</i>	NS			*					
<i>Tintinnopsis nordqvisti</i>	NS			*					
<i>Tintinnopsis parva</i>	NS								*
<i>Tintinnopsis parvula</i>	NS	*							
<i>Tintinnopsis radix</i>	NS			*				*	*
<i>Tintinnopsis rapa</i>	NS					*	*		
<i>Tintinnopsis tocaninensis</i>	NS								*
<i>Tintinnopsis uruguayensis</i>	NS								*
Total number of species	33	6	5	14	3	8	5	16	10

Favella ehrenbergii, *F. taraikaensis*, *Helicostomella subulata*, *Stenosemella nivalis*, *Tintinnopsis ampla*, *T. beroidea*, *T. cylindrica*, *T. directa*, *T. lohmanni*, *T. radix*, *T. rapa* 등 총 13종이 우리나라 4개의 항만에서 출현하였다. 광양항에서 13종 (Table 3)의 가장 많은 벡터종이 출현하였고 인천항에서 6종 (Table 4)으로 가장 적었다. 부산항과 울산항은 각각 10종과 11종이 출현하였다 (Tables 1, 2).

조사 기간 중 이들 벡터종의 계절별 분포를 보면 2007년과 2008년 8월 하계에 부산항, 울산항, 광양항에서 6~9종으로 가장 많은 출현종수를 보인 반면에 인천항에서는 2종으로 적은 출현 종수를 보여 인천항을 제외한 부산항, 광양항, 울산항에서 고수온기에 벡터종의 출현종수가 증가하였다 (Fig. 3). 일반적으로 유충섭모충류의 종 다양성은 고수온기에 출현종수가 증가한다고 보고 (Kim and Lee 2003; Kim *et al.* 2007a)가 되어 있으며 선박평형수에 의한 벡터종 역시

고수온기에 출현종수가 증가하였고 저수온기에는 모든 항에서 1~2종으로 감소하였다 (Fig. 3). 하지만 인천항에서는 오히려 저수온기 2월에 가장 많은 벡터종이 출현하고 있어 다른 항과 다른 경향을 보이고 있어 수온 이외의 다른 요인이 있는지에 대한 심도있는 연구가 필요하다고 생각된다.

3. 유충섭모충류의 출현종 생태 특성

조사 기간 동안 출현한 유충섭모충류를 생태 특성에 따라 연안종, 범세계종, 난류종, 냉수종으로 구분하였다 (Tables 1~4). 모든 항만에서 연안종이 가장 많이 출현하였고, 특히 2007년과 2008년 8월 광양항에서 13종으로 가장 많았다 (Fig. 4). 부산항에서 범세계종이 2007년 8월에 5종으로 가장 많은 출현을 보였고, 난류종 또한 2008년 8월에 부산항에서 4종으로 가장 많이 출현하였다 (Fig. 4). 난류종은 울산항

Table 2. Seasonal occurrence of tintinnids at Ulsan Port in 2007 and 2008 (CS; cosmopolitan species, WS; warm water species, NS; neritic species). Species in bold are vector species recorded in Coos Bay, Oregon, USA

Species name	Ecological characteristic	2007				2008			
		Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.
<i>Amphorides minor</i> = syn <i>Amphorella minor</i>	WS							*	
<i>Amphorellopsis acuta</i>	CS			*				*	*
<i>Amphorides amphora</i>	CS			*					
<i>Codonellopsis morchella</i>	WS							*	*
<i>Codonellopsis ostenfeldi</i>	WS			*	*				*
<i>Dadayiella ganymedes</i>	WS			*				*	*
<i>Eutintinnus lususundae</i>	CS			*					
<i>Eutintinnus tubulosus</i>	CS			*				*	
<i>Schmidingella arcuata</i> = syn <i>Favella taraikaensis</i>	NS		*	*				*	
<i>Helicostomella subulata</i>	NS			*				*	
<i>Salpingella subconica</i>	CS			*					
<i>Stenosemella nivalis</i>	NS	*	*	*				*	
<i>Stenosemella pacifica</i>	CS						*		
<i>Stenosemella ventricosa</i>	NS		*						
<i>Tintinnidium primitivum</i> = syn <i>T. balechi</i>	NS		*					*	
<i>Tintinnidium mucicola</i>	NS	*	*						*
<i>Tintinnopsis beroidea</i>	NS	*	*	*	*			*	*
<i>Tintinnopsis campanula</i> = syn <i>T. butschlii</i>	NS			*				*	
<i>Tintinnopsis cylindrica</i>	NS	*	*	*				*	
<i>Tintinnopsis dadayi</i> = syn <i>T. directa</i>	NS			*					
<i>Tintinnopsis lohmanni</i>	NS (cold water)								*
<i>Tintinnopsis nana</i>	NS								*
<i>Tintinnopsis neriticus</i>	NS		*	*				*	*
<i>Tintinnopsis nordqvisti</i>	NS			*					
<i>Tintinnopsis parva</i>	NS								*
<i>Tintinnopsis radix</i>	NS		*	*				*	*
<i>Tintinnopsis rapa</i>	NS					*		*	
<i>Tintinnopsis simplex</i>	NS								*
<i>Tintinnopsis tocantinensis</i>	NS			*					*
<i>Tintinnopsis</i> sp.1	NS								*
Total number of species	30	4	9	18	2	1	1	15	14

에서 4종과 광양항에서 1종의 출현을 보여 남해에 위치한 부산항, 울산항, 광양항은 쿠로시오 지류인 대마 난류의 영향을 받고 있을 것으로 추정되는 반면, 서해에 위치한 인천항에서는 해류의 영향이 크게 미치지 않은 것으로 사료된다. 냉수종은 저수온기인 2월에 부산항과 광양항에서 각각 2종씩 관찰되었으며 울산항과 인천항 역시 저수온기에 각각 1종씩의 출현을 보였다 (Fig. 4).

각 항구의 유종섬모충류 출현종의 계절적 변동과 생태특성을 Tables 1~4에 정리하였다. 부산항의 경우 2007년과 2008년 2월 동계에는 연안종인 *Tintinnopsis* 속의 종이 다양하게 출현하였으며 특히 냉수종인 *Tintinnopsis baltica*와 *T. lohmannii*가 출현하여 계절적 특성을 잘 반영하였다 (Table 1). 춘계 5월에는 대표적 연안종인 *Tintinnidium* 속과 *Tintinnopsis* 속의 종이 다양하게 출현하였다. 2007년 8월 하계에는 14종으로 가장 다양하였으며 난류종인 *Dadayiella ganymedes*와 *Epiplocyloides ralumensis*가 출현하였고, 2008년 8월에는

Eutintinnus stramentus, *Protorhabdonella curta* 등의 난류종이 추가로 출현하였다. 2007년 11월에도 난류종인 *Ascampbelliella urceolata*가 관찰되었다. 2008년 11월에는 *Codonellopsis morchella*, *C. ostenfeldi* 등 난류종이 수의 유입 영향이 종조성에 반영되는 결과를 보였다 (Table 1).

울산항의 경우 2007년 8월에 난류종 *Codonellopsis ostenfeldi*, *Dadayiella ganymedes*이 출현하였고 2008년 8월에 난류종 *Amphorides minor*, *Codonellopsis morchella*, *D. ganymedes*가 출현하였다 (Table 2). 2007년 11월에도 *C. ostenfeldi*가 출현하였고 2008년 11월에는 *C. morchella*, *C. ostenfeldi*, *D. ganymedes*가 출현하여 부산항과 유사하게 난류종이 계절적 출현이 뚜렷하여 이 시기에 난류수의 유입에 의한 영향을 보이고 있었다. 2008년 8월에 고수온기에 주로 출현하는 *Tintinnopsis tocantinensis*가 출현하여 계절적 특성을 뚜렷하게 보였다. 2007년과 2008년 2월에는 대표적 연안종인 *Tintinnopsis* 속이 관찰되었다. 2007년 5월에는 대표적 연안

Table 3. Seasonal occurrence of tintinnids at Gwangyang Port in 2007 and 2008 (CS; cosmopolitan species, WS; warm water species, NS; neritic species). Species in bold are vector species recorded in Coos Bay, Oregon, USA

Species name	Ecological characteristic	2007				2008			
		Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.
<i>Amphorellopsis acuta</i>	CS			*	*			*	*
<i>Codonellopsis nipponica</i>	NS			*					
<i>Codonellopsis ostensfeldi</i>	WS								*
<i>Eutintinnus lususundae</i>	CS		*					*	*
<i>Eutintinnus tubulosus</i>	CS		*	*			*		
<i>Favella ehrenbergii</i>	NS		*	*				*	*
<i>Schmidingella arcuata</i> = syn <i>Favella taraikaensis</i>	NS		*	*			*		
<i>Helicostomella subulata</i>	NS			*				*	
<i>Salpingella subconica</i>	CS								*
<i>Stenosemella nivalis</i>	NS						*	*	*
<i>Stenosemella pacifica</i>	CS						*		
<i>Stenosemella parvicollis</i>	NS						*		
<i>Tintinnidium primitivum</i> = syn <i>T. balechi</i>	NS		*	*				*	*
<i>Tintinnidium mucicola</i>	NS	*	*			*	*	*	
<i>Tintinnopsis ampla</i>	NS		*						
<i>Tintinnopsis baltica</i>	NS (cold water)	*	*			*	*		
<i>Tintinnopsis beroidea</i>	NS	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Tintinnopsis campanula</i> = syn <i>T. butschlii</i>	NS		*	*				*	
<i>Tintinnopsis cylindrica</i>	NS					*			
<i>Tintinnopsis dadayi</i> = syn <i>T. directa</i>	NS							*	
<i>Tintinnopsis lohmanni</i>	NS (cold water)	*				*	*		
<i>Tintinnopsis nana</i>	NS								*
<i>Tintinnopsis neriticus</i>	NS	*	*	*			*		
<i>Tintinnopsis nordqvisti</i>	NS			*				*	*
<i>Tintinnopsis parva</i>	NS	*	*						*
<i>Tintinnopsis parvula</i>	NS			*				*	*
<i>Tintinnopsis radix</i>	NS		*	*			*	*	*
<i>Tintinnopsis rapa</i>	NS					*			
<i>Tintinnopsis simplex</i>	NS			*					*
<i>Tintinnopsis tocaninensis</i>	NS			*	*			*	*
<i>Tintinnopsis uruguayensis</i>	NS							*	
Total number of species	31	6	13	15	3	6	11	15	15

종인 *Tintinnidium* 속과 *Tintinnopsis* 속의 종이 다양하게 출현하였으나 2008년 5월에는 범세계종인 *Stenosemella pacifica* 한 종만 관찰되었다(Table 2).

광양항에서 2007년과 2008년 2월에 냉수종 *Tintinnopsis baltica*, 8월에 고수온 연안종 *Tintinnopsis tocaninensis*가 각각 출현하여 계절적 특성을 잘 나타내었다(Table 1). 또한 소형 와편모조류의 천적생물로 알려진 *Favella ehrenbergii* 과 *Schmidingella arcuata* (= syn *Favella taraikaensis*)가 2007년과 2008년 5월과 8월에 출현하였고, 2008년 11월에 난류종 *C. ostensfeldi*가 출현하였다(Table 3).

인천항에서도 냉수종 *Tintinnopsis lohmanni*가 2007년과 2008년 2월에 출현하여 뚜렷한 계절적 출현특성을 보였다(Table 4). 2007년과 2008년 8월에는 고온 연안종 *T. tocaninensis*가 출현하여 저수온기와 고수온기의 계절적 종특이성을 보였다. *Tintinnopsis* 속의 종이 다양하게 출현하였지만 부산항, 울산항과 광양항과 같은 난류종은 관찰되지 않았다

(Table 4).

4. 부유성 섬모충의 세포수 변동

조사기간 동안 섬모충 플랑크톤 세포수의 범위는 642~65,182 cells L⁻¹로 세포수의 변화는 계절에 따라 큰 차이를 보였으며, 이중 무각섬모충 세포수는 566~65,151 cells L⁻¹ 그리고 유각섬모충 세포수는 10~5,973 cells L⁻¹로써 총 섬모충 세포수는 무각섬모충이 대부분 차지하였다(Fig. 5). 각 항만의 계절별 섬모충의 평균 세포수는 2007년 2월에 울산항을 제외한 나머지 세 항만은 낮은 세포수가 분포하였으며 5월과 8월에는 수온의 상승과 더불어 세포수도 증가하였고, 8월에는 인천항을 제외한 부산, 울산, 광양항에서 높은 세포수를 보였다(Fig. 5). 특히 광양항 8월은 최고 평균 세포수인 약 14,000 cells L⁻¹을 기록하였다. 추계 11월에는 세포수가 다시 감소하였고 4개의 항만 모두 2,500~3,500 cells L⁻¹의

Table 4. Seasonal occurrence of tintinnids at Incheon Port in 2007 and 2008 (CS; cosmopolitan species, WS; warm water species, NS; neritic species). Species in bold are vector species recorded in Coos Bay, Oregon, USA

Species name	Ecological characteristic	2007				2008			
		Feb.	May	Aug.	Nov.	Feb.	May	Aug.	Nov.
<i>Amphorellopsis acuta</i>	CS			*					*
<i>Codonellopsis nipponica</i>	NS						*		
<i>Eutintinnus tubulosus</i>	CS			*					
<i>Favella ehrenbergii</i>	NS							*	
<i>Stenosemella nivalis</i>	NS					*		*	*
<i>Stenosemella ventricosa</i>	NS		*		*				
<i>Tintinnidium mucicola</i>	NS					*			
<i>Tintinnidium primitivum</i> = syn <i>T. balechi</i>	NS	*	*	*		*			*
<i>Tintinnopsis amphora</i>	NS								*
<i>Tintinnopsis beroidea</i>	NS	*	*	*	*	*			*
<i>Tintinnopsis campanula</i> = syn <i>T. butschlii</i>	NS			*					
<i>Tintinnopsis lohmanni</i>	NS (cold water)	*				*			
<i>Tintinnopsis parva</i>	NS	*	*						
<i>Tintinnopsis parvula</i>	NS		*	*					*
<i>Tintinnopsis rapa</i>	NS					*	*		*
<i>Tintinnopsis tocantinensis</i>	NS			*	*	*		*	
<i>Tintinnopsis</i> sp.2	NS		*						
<i>Tintinnopsis</i> sp.3	NS					*			
Total number of species	18	4	6	7	3	8	2	3	7

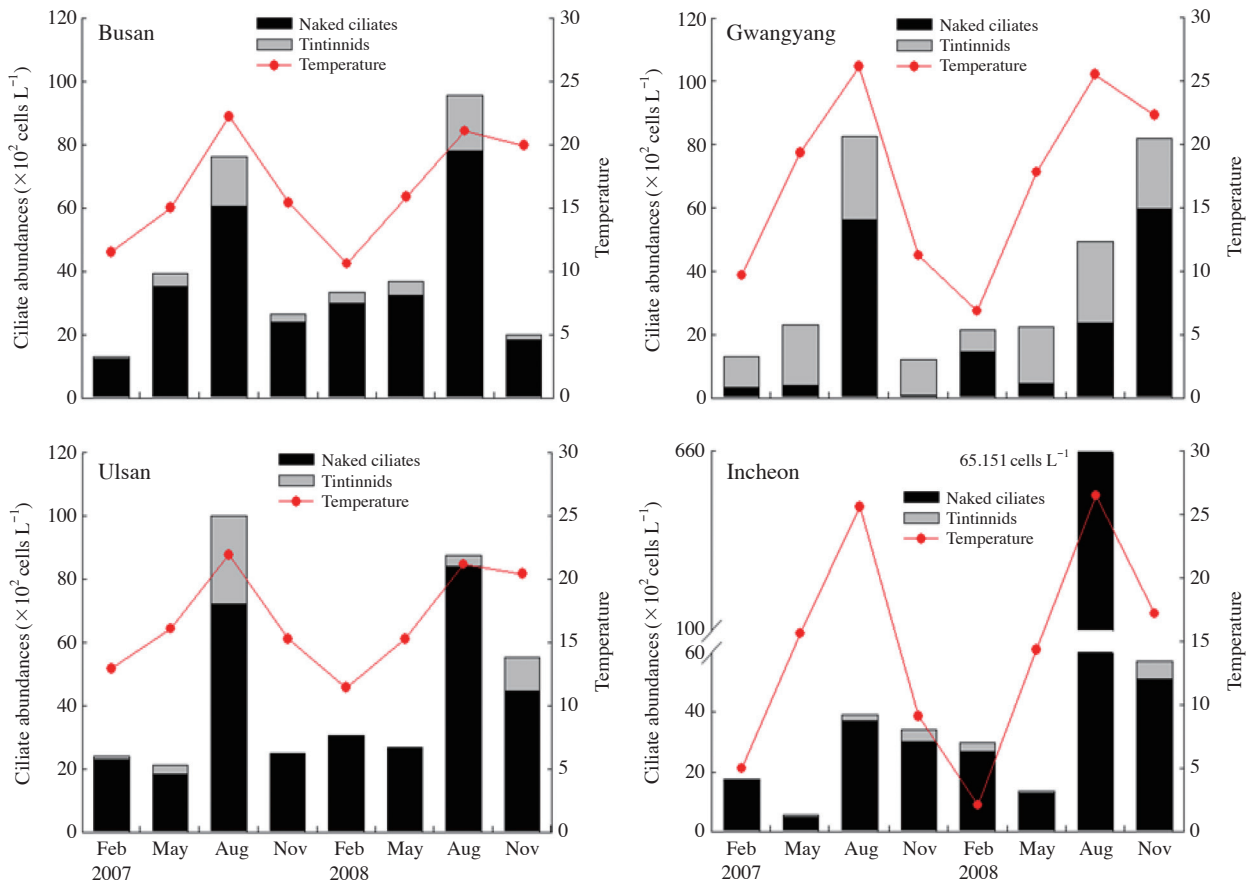


Fig. 5. Seasonal variations in abundances of naked ciliates and tintinnids, and water temperature at Busan, Ulsan, Gwangyang and Incheon ports from Feb. 2007 to Nov. 2008.

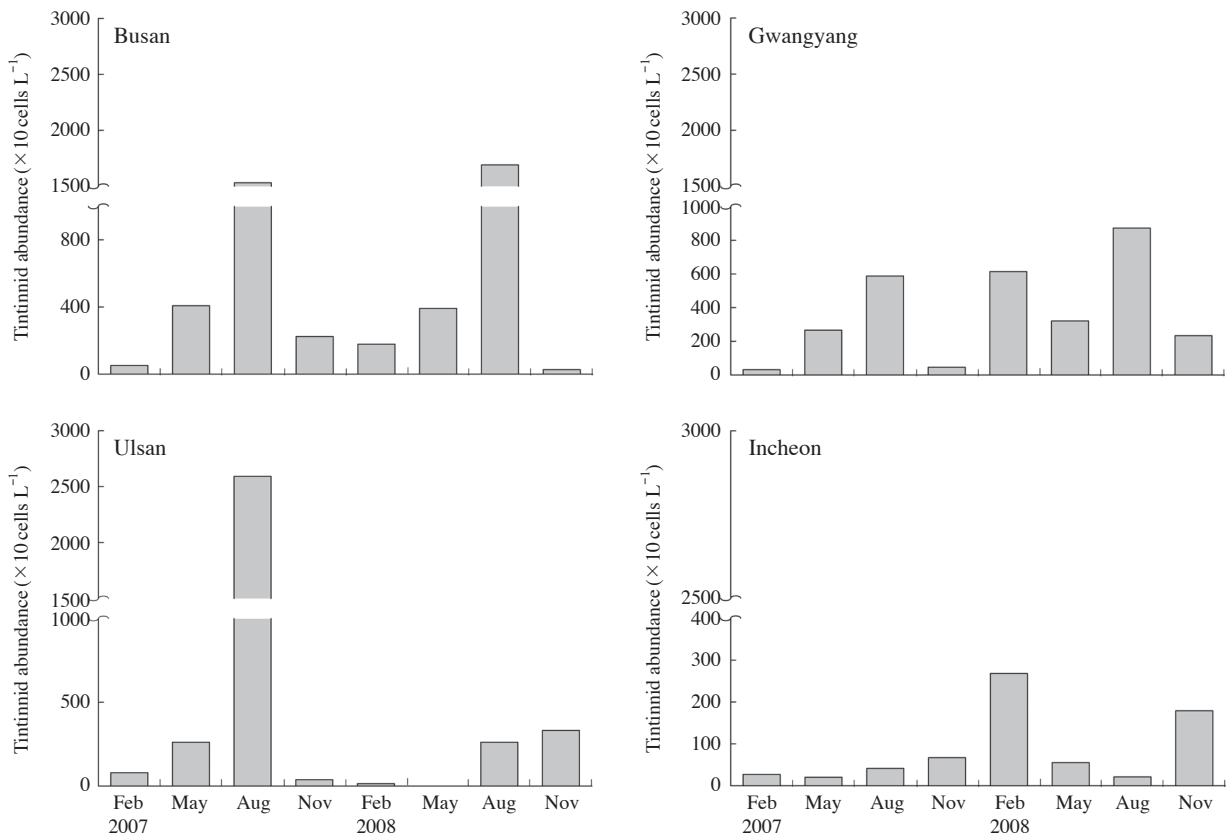


Fig. 6. Seasonal variations in abundances of tintinnid vector species at Busan, Ulsan, Gwangyang and Incheon ports from Feb. 2007 to Nov. 2008.

범위를 보였다. 2008년에는 2월과 5월의 동계에서 춘계까지는 4개의 항만 모두 2,500~3,500 cells L⁻¹ 범위로 낮았으나, 하계 8월에는 조사항만 모두 8,000 cells L⁻¹ 이상으로 급증하였고 특히 인천항에서 최고치(65,182 cells L⁻¹)을 기록하였다(Fig. 5). 이상의 섬모충플랑크톤 세포수 변동은 대부분은 무각 섬모충류 동태에 의해 좌우되었다.

5. 유충섬모충류의 벡터종 세포수 변동

각 항만에서 유충섬모충류의 벡터종 평균 세포수의 계절적 변화를 보면, 부산항에서는 계절적 변동이 뚜렷하게 나타났으며 2007년과 2008년 하계 8월 고수온기에 높은 세포수를 보였으며 상대적으로 저수온기인 2월과 11월에는 낮은 세포수를 보였다(Fig. 6). 울산항은 2007년과 2008년 전 계절에서 평균 세포수 500 cells L⁻¹ 이하의 낮은 세포수를 보였으나, 예외로 2007년 하계 8월 고수온기에 2,500 cells L⁻¹ 이상의 높은 세포수를 보였다(Fig. 6). 광양항에서는 2007년과 2008년 하계 8월과 2008년 2월에 높은 세포수를 보였고 2007년 2월과 11월에 낮은 세포수를 보였다(Fig. 6). 인천항

은 타 항만에 비해 낮은 세포수를 보였으며 2008년 2월에는 타 조사기시에 비해 가장 높은 세포수를 보였다(Fig. 6).

각 항만의 유충섬모충류 생태특성 구분에 의한 각 생태종의 평균 세포수를 보면 모든 항만에서 연안종이 가장 많은 세포수를 차지하고 있으며 특히 광양항에서 5,500 cells L⁻¹ 이상으로 가장 높은 세포수를 보였다(Fig. 7). 또한, 광양항에서 냉수종과 범세계종이 가장 높은 세포수를 보였는데, 냉수종은 2008년 2월에 821 cells L⁻¹을 기록하였고 범세계종은 2008년 8월에 451 cells L⁻¹로 타 항만에 비해 가장 높은 세포수가 나타났다. 난류종은 울산항에서는 2007년 8월에 가장 많은 147 cells L⁻¹을 기록하였다(Fig. 7). 이처럼 광양항과 울산항에서 난류종과 냉수종이 많은 세포수를 보이고 있어 다른 항만보다 해류의 영향을 많이 받고 있다고 생각된다.

6. 유충섬모충플랑크톤 우점종 변동과 출현특성

유충섬모충 우점종은 세포수가 1,000 cells L⁻¹ 이상인 종을 기준으로 선별하여 이들의 계절적 변동을 Fig. 8에 표시하였다. 부산항의 경우 선박평형수의 벡터종인 *Tintinnopsis*

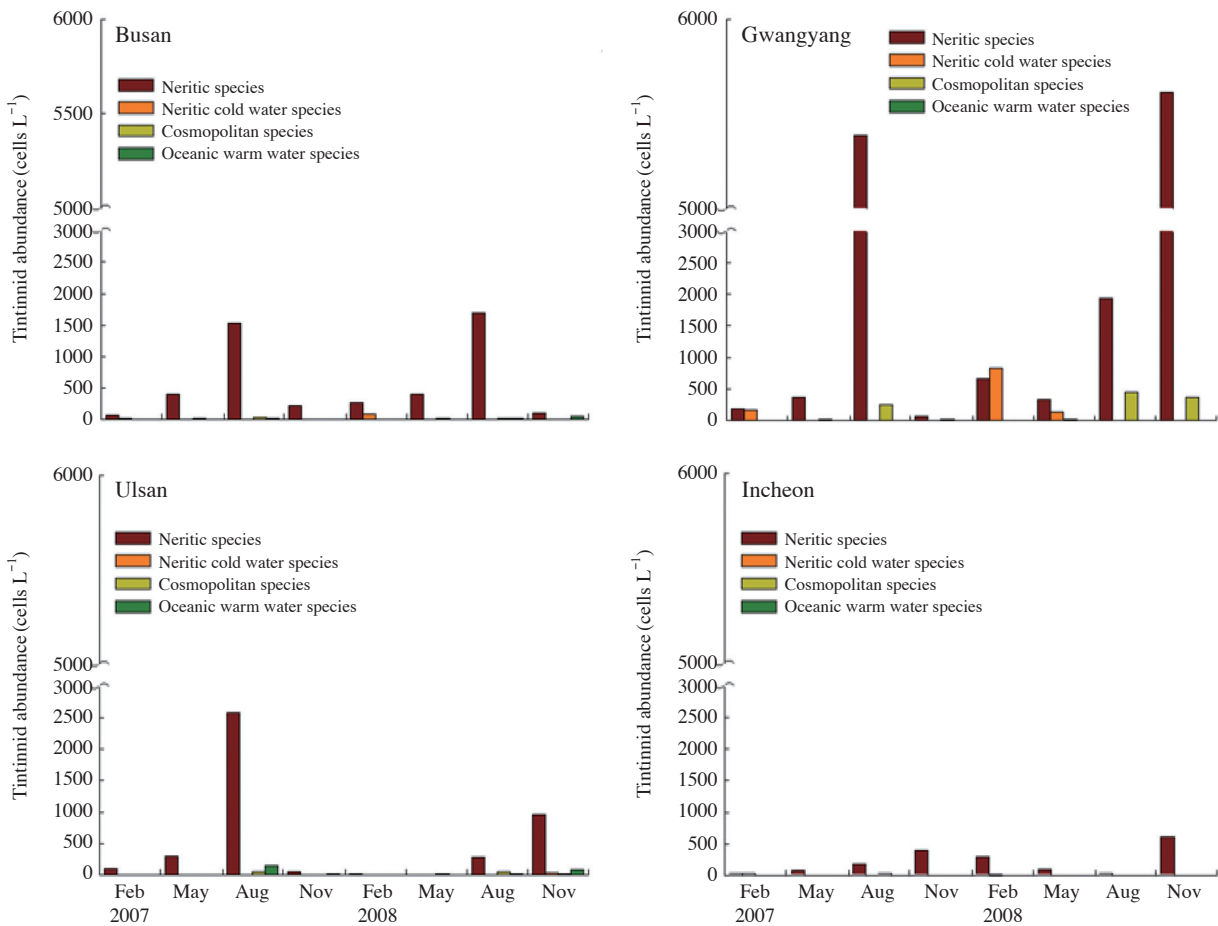


Fig. 7. Tintinnid abundance of each ecological characteristics at Busan, Ulsan, Gwangyang and Incheon ports from Feb. 2007 to Nov. 2008.

*beroidea*가 우점종으로 출현하였으며 특히 2007년 8월과 2008년 8월에 평균 세포수가 1,400 cells L⁻¹, 1,587 cells L⁻¹로 가장 높은 값을 보이며 우점하여 부산항의 대표종으로 판단된다(Fig. 8).

울산항도 부산항과 마찬가지로 벡터종인 *Helicostomella subulata*가 2007년 8월에 우점종으로 관찰되었으며 2008년 11월에는 *Tintinnopsis nana*가 우점종으로 관찰되었다(Fig. 8). *Helicostomella subulata*는 국내 연안해역에 흔히 출현하는 종으로서 마산만, 구룡포항, 제주근해와 동중국해, 장목만에서도 그 출현이 보고되어 있다(Lee and Kim 1999, 2000; Kim *et al.* 2007a, b; Kim and Jang 2008). 본 종은 계절별로 형태적인 특징이 변화하는 종으로 알려져 있고 고수온기에는 피갑(lorica)의 구연(oral margin)에 구치(oral teeth)가 약화되지만 반대로 저수온기에 출현하는 개체는 구치가 잘 발달되는 수온에 따른 종내 형태적 변이가 관찰된다고 보고되어 있다(Alder 1999; Kim and Jang 2008). 본 연구에서 울산항 11월에 관찰된 *Helicostomella subulata*의 경우에도 구치

가 약화된 형태적 특징을 보였다. *Tintinnopsis nana*의 경우 마산만과 시화호, 장목만과 같이 오염해역에서도 고수온기 8월에 고밀도의 세포수가 관찰되었다. 세포의 구경이 18 μm의 소형종으로 7 μm 이하의 박테리아와 같은 작은 극미소플랑크톤을 효율적으로 섭취할 수 있으며 박테리아의 증식에 고밀도 분포가 보고되어 있다(Kim *et al.* 2007a, b; Kim and Jang 2008). 본 연구에서 *Tintinnopsis nana*의 경우에도 2008년 11월 울산항에서 높은 현존량을 보였으며 이때의 수온 조건이 20°C가 넘는 고수온기를 보이고 있어 풍부한 먹이원과 밀접한 관계가 있을 것으로 판단된다.

인천항의 경우 *Tintinnidium balechi*가 우점종으로 출현하였으며 2007년, 2008년 모두 11월 추계에 가장 높은 세포수를 보이며 우점하여 인천항의 대표종으로 판단된다(Fig. 8). *Tintinnidium balechi*는 주로 연안에서 혼탁한 수괴에 분포하는 종으로서 조수간만의 차가 크기때문에 타 항만 보다 해수의 투명도가 낮은 인천항의 수환경 조건이 우점종의 생태적 특성과 잘 일치하고 있다(KORDI 2009).

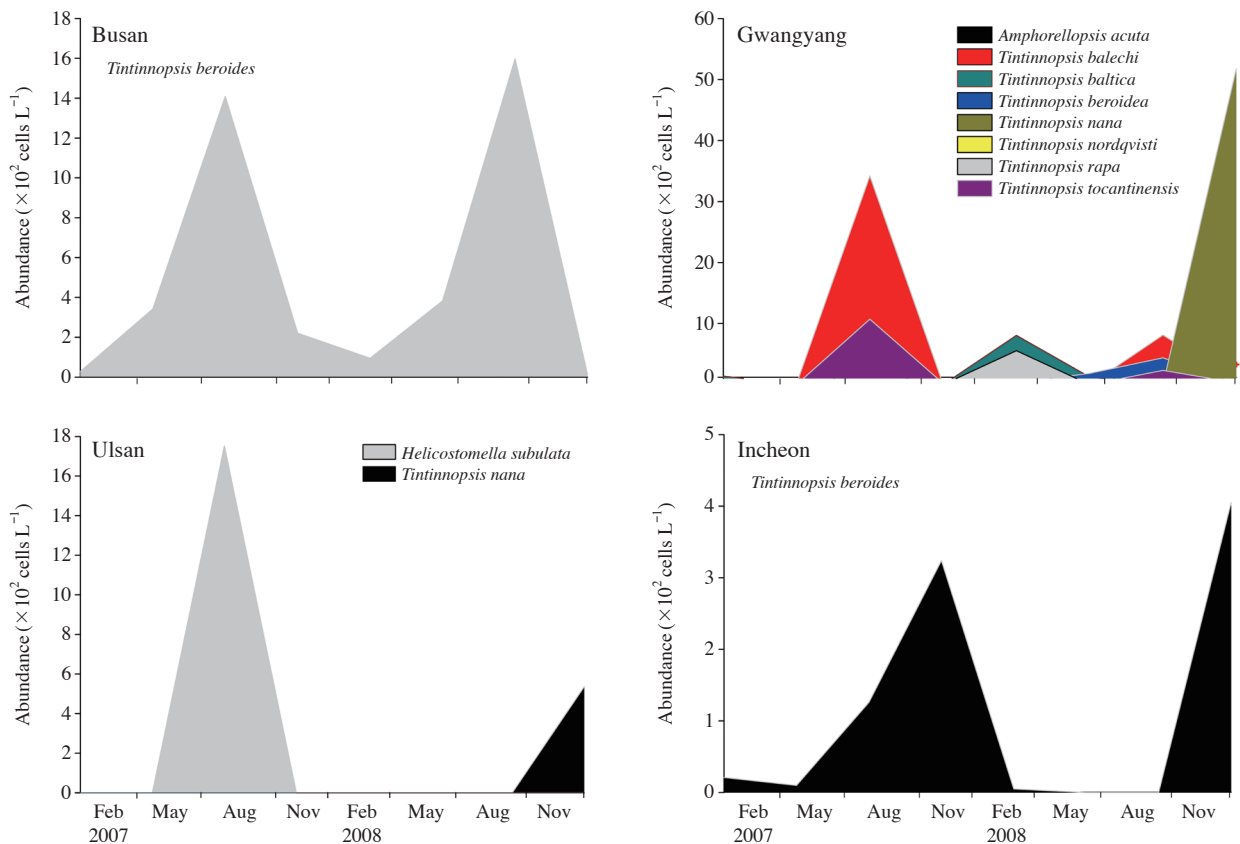


Fig. 8. Seasonal variations in abundances of dominant tintinnids from Feb. 2007 to Nov. 2008.

광양항은 타 항만보다 우점종이 다양하게 출현하였다. *Ascampbelilla acuta*, *Tintinnidium balechi*, *Tintinnopsis beroidea*, *T. tocaninensis*, *T. baltica*, *T. nana*, *T. nordqvisti*, *T. rapa*가 우점하였다(Fig. 8). 이 중 *Tintinnopsis beroidea*와 *T. rapa*는 선박평형수의 벡터종으로 보고된 종이다. 2007년 8월에 *Tintinnidium balechi*, *Tintinnopsis beroidea*, *T. nordqvisti*, *T. tocaninensis*가 함께 우점하였으며 특히 8월에 *Tintinnidium balechi*의 평균 세포수가 3,000 cells L⁻¹ 이상으로 가장 높은 우점을 보였다. 2008년 2월에는 *T. baltica*와 *T. rapa*가 8월에는 *T. balechi*가 우점을 보였다. 11월에는 *A. acuta*와 *T. nana*가 우점을 보였는데 특히 *T. nana*의 경우 평균 세포수가 5,000 cells L⁻¹ 이상으로 가장 높은 우점을 보였다(Fig. 8).

7. 유충섬모충 출현종수와 수온과의 상관성

유충섬모충 출현종수와 각 항만의 평균 수온의 상관성을 보면 부산항, 울산항, 광양항은 양의 상관관계(부산항, $r=0.731$, $p<0.05$, $n=8$), (울산항, $r=0.924$, $p<0.01$, $n=8$), (광양항, $r=0.911$, $p<0.01$, $n=8$)를 보였지만 인천항에서는 뚜렷한 상관관계($r=-0.091$, $p<0.05$, $n=8$)를 볼 수 없었다

(Fig. 9). 이러한 이유는 부산항, 울산항, 광양항에서는 고수온기에 10종 이상의 다양한 출현종 구성과 높은 현존량을 보였으나 저수온기에는 10종 이하로 적은 수의 출현종 구성과 낮은 현존량이 관찰되었지만, 인천항에서는 이런 출현종의 특성이 나타나지 않았기 때문이라고 판단된다. 또한 부산항, 울산항과 광양항에서는 우점종 세포수와 수온과 양의 상관관을 보이는데 반해 인천항에서는 우점종 세포수와 수온과 양의 상관관을 보이지 않아, 유충섬모충 출현종수와 수온의 상관성과 같은 결과를 보였다. 이처럼 인천항은 다른 항만과 달리 유충섬모충류가 우점할 수 있는 환경적인 요소가 수온뿐만이 아닌 다른 요소가 있을 것으로 판단된다.

적 요

2007년 2월부터 2008년 11월까지 국내의 4개 주요 항만(부산항, 울산항, 인천항, 광양항)에 분포하는 유충섬모충류의 계절적 출현양상과 선박평형수 벡터종(Coos Bay 벡터종 기준)의 계절적 출현양상을 조사하였다. 조사 기간 중 부산항과 울산항에서 유충섬모충류 난류종인 *Ascampbeliella urceo-*

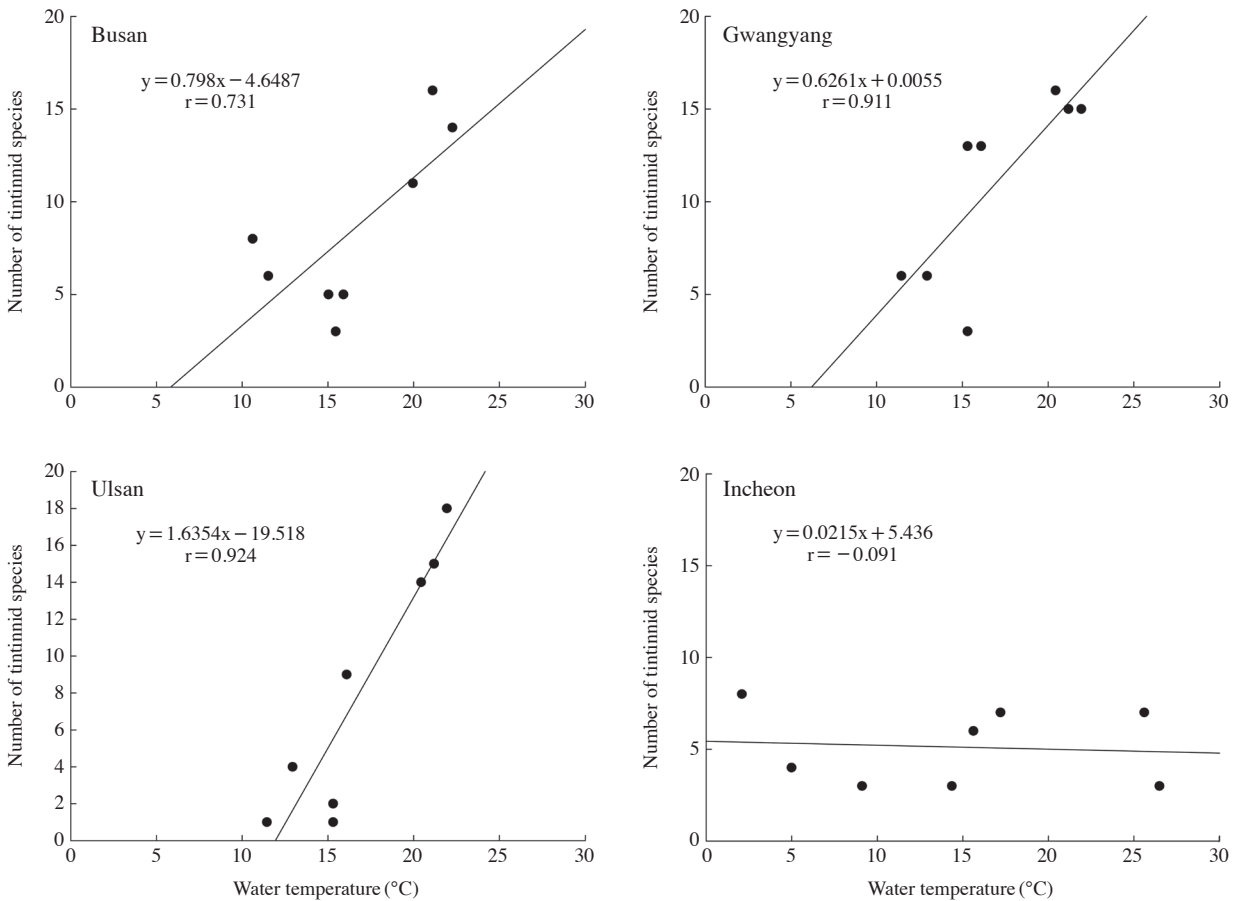


Fig. 9. Direct correlations between species number of tintinnids and water temperature.

lata, *Codonellopsis morchella*, *C. ostenfeldi*, *Dadayiella ganymedes*, *Eutintinnus stramentus*, *Protorhabdonella curta*가 8월과 11월에 출현하였다. 인천항과 광양항에서는 전 계절을 통해 연안종이 출현하였고 특히 저수온기와 고수온기에 연안종의 출현이 뚜렷하였다. 광양항에서는 2007년 5월에 난류종 *Tintinnopsis ampla*의 출현과 2008년 11월에 *C. ostenfeldi*가 출현을 보였지만 인천항에서는 난류종의 출현이 관찰되지 않았다. 유종섬모충 출현분포의 특성은 연안종이 주로 출현하였으며, 부산항과 울산항에서 8월과 11월에 난류종이 증점적으로 출현하고 있는 것은 쿠로시오 해류(Kuroshio current)의 지류인 대마난류(Tsushima Warm Current)의 영향에 의한 유입되는 것으로 판단된다. 또한 조사 기간 중 주요 항만에서 출현한 유종섬모충류의 벡터종은 총 13종이었다. 광양항에서 13종으로 가장 많은 종이 출현하였고 인천항에서 6종으로 가장 적은 종수가 관찰되었으며 부산항과 울산항에서 각각 10종과 11종이 관찰되었다. 이들 벡터종은 부산항, 울산항, 광양항의 고수온기에 가장 많은 출현종수를 보인 반면, 인천항에서는 저수온기 2월에 가장 많은 출현종

수를 보여 항만에 따른 차이를 보였다. 그러나 우리나라에 해역에 영향을 주는 서로 다른 해류에 의한 유입종 연구와 선박 평형수에 의해 유입된 벡터종의 연구가 매우 부족하기 때문에 주요 항만의 유종섬모충류의 종조성 차이에 대한 정확한 결론을 내리기에는 어려움이 있어 앞으로 이에 대한 체계적인 연구가 필요하다고 판단된다.

사 사

이 논문은 2017학년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의하여 출판되었음.

REFERENCES

Alder VA. 1999. Tintinninea. pp. 321-384. In South Atlantic Zooplankton Vol. 1 (Boltovskoy D ed.). Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands.

- Choi JK and JH Shim. 1986. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. III. Phytoplankton composition, standing crops, tychopelagic plankton. J. Kor. Soc. Oceanogr. 23:1-12.
- Hada Y. 1932a. Description of two new neritic Tintinnoinea, *Tintinnopsis japonica* and *Tintinnopsis kofoidi* with a brief note on a unicellular organism parasitic on the latter. Proc. Imp. Acad. 8:209-212.
- Hada Y. 1932b. The tintinnoidea 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 Tintinnoinea. Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ. 4th Ser. Biol. 7:553-573.
- Hada Y. 1935. On the pelagic Ciliata, Tintinnoinea, from the East Indies with consideration on the character of the plankton in the seas. Bull. Jap. 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 Tintinnoinea from the western tropical Pacific. J. Fac. Sci. Hokkaido Imp. Univ. Ser. 6 Zool. 6:87-190.
- Hada Y. 1957. The Tintinnoinea, useful microplankton for judging oceanographical conditions. Inform. Bull. Planktol. Japan 5:10-12.
- Han GB and WJ Lee. 2010. Temporal variations and species composition of planktonic tintinnids (Protist, Ciliophora) in the Korea Strait. 'The Sea' J. Kor. Soc. Oceanol. 15:176-183. (in Korean)
- Jeong HJ, YD Yoo and JS Kim. 2002. Outbreak of red tides in the coastal waters off the southern Saemankeum areas, Jeonbuk, Korea 2. Temporal variations in the heterotrophic dinoflagellates and ciliates in the summer-fall of 1999. 'The Sea' J. Kor. Soc. Oceanol. 7:140-147. (in Korean)
- Jung JH, MH Park, SY Kim, JM Choi, GS Min and YO Kim. 2017. Checklist of Korean ciliates (Protozoa: Ciliophora). J. Species Res. 6:241-257.
- Kang JH. 2010. Distribution characteristics and carrying capacity of the potentially risky species *Noctiluca scintillans* at international Korean seaports. Ocean and Polar Res. 32: 449-462. (in Korean)
- Kim YH and JB Lee. 2003. Seasonal variations and species composition of planktonic ciliates in the southern coastal waters of Jeju Island, Korea. 'The Sea' J. Kor. Soc. Oceanol. 8:59-69. (in Korean)
- Kim YO, J Chae, JS Hong and PG Jang. 2007a. 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.
- Kim YO, HW Choi, MC Jang, PK Jang, WJ Lee, K Shin and M Jang. 2007b. A brief review of approaches using planktonic organisms to assess marine ecosystem health. Ocean and Polar Res. 29:327-337. (in Korean)
- Kim YO and MC Jang. 2008. Temporal distribution of planktonic ciliates in Jangmok Bay, south coast of Korea. Ocean and Polar Res. 30:419-426. (in Korean)
- Kim YO, K Shin, PG Jang, HW Choi, JH Noh, EJ Yang, E Kim and D Jeon. 2012. Tintinnid species as biological indicators for monitoring intrusion of the warm oceanic waters into Korean coastal waters. Ocean Sci. J. 47:161-172.
- Kofoed CA and AS 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.
- Kofoed CA and AS 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 Stremer "Albatross" from October 1904 to March 1905. The Ciliata: the Tintinnoinea. Bull. Mus. Comp. Zool. 84: 1-473.
- Koh BS, JH Lee and JS Hong. 1997. Distribution patterns of the benthic macrofaunal community in the coastal area of Incheon, Korea. 'The Sea' J. Kor. Soc. Oceanol. 2:31-41. (in Korean)
- KORDI. 2009. Development of Port Environmental Risk Assessment Technology. 290 pp. (in Korean)
- Lee JB and YH 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 JB and YH 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.
- Pierce RW and JT Turner. 1992. Ecology of planktonic ciliates in marine food webs. Rev. Aquat. Sci. 6:139-181.
- Pierce RW and JT Turner. 1993. Global biogeography of marine tintinnids. Mar. Ecol. Prog. Ser. 94:11-26.
- Pierce RW, JT Carlton, DA Carlton and JB Geller. 1997. Ballast water as a vector for tintinnid transport. Mar. Ecol. Prog. Ser. 149:295-297.
- Pomeroy LR. 1974. The ocean's food web, a changing paradigm. Bioscience 24:499-504.
- Seo JY, SH Park, HS Lim, M Chang and JW Choi. 2009. The community structure of macrozoobenthos during summer in the Incheon and Busan harbors, Korea. Korean J. Environ. Biol. 27:6-19. (in Korean)

- Yang EJ and JK Choi. 2007. Short-term variations in community structure of phytoplankton and heterotrophic protozoa during the early fall phytoplankton blooms in the coastal water off Incheon, Korea. *Ocean and Polar Res.* 29:101–112. (in Korean)
- Yoo JS, JH Lee and IK Lee. 1997. Characteristics of physico-chemical factors of Incheon Dock ecosystem, Korea. *Korean J. Ecol.* 20:61–68. (in Korean)
- Yoo JS, YH Kim, JH Lee and IK Lee. 1992. Fluctuation of phytoplankton biomass and primary productivity in closed marine ecosystem, Incheon Dock. *Korean J. Bot.* 35:323–332. (in Korean)

Received: 8 June 2018
Revised: 19 June 2018
Revision accepted: 20 June 2018