

Article

북부 동중국해 수괴 변화 감시를 위한 유중섬모류 분포 적용

김영옥¹ · 노재훈² · 이태희¹ · 장풍국¹ · 주세종³ · 최동림^{1*}

¹한국해양과학기술원 남해연구소
(656-830) 경상남도 거제시 장목면 장목1길 41
²한국해양과학기술원 해양생태계연구부
³한국해양과학기술원 심해저자원연구부부
(425-600) 경기도 안산시 상록구 해안로 787

Using Tintinnid Distribution for Monitoring Water Mass Changes
in the Northern East China Sea

Young-Ok Kim¹, Jae-Hoon Noh², Tae-Hee Lee¹, Pung-Guk Jang¹,
Se-Jong Ju³, and Dong-Lim Choi^{1*}

¹South Sea Research Institute, KIOST
Geoje 656-830, Korea
²Marine Ecosystem Research Division, KIOST
³Deep-sea and Seabed Resources Research Division, KIOST
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstract : Tintinnid species distribution has been monitored in the northern East China Sea (ECS) in the summer of 2006 through 2011. This is used to understand the water mass movements in the northern ECS. The warm oceanic tintinnid species had largely spread in 2007 in the area, indicating that there was greater warm water extension into the northern ECS. However the extension of neritic water within the Changjiang diluted water mass has strengthened in 2008 and 2010 because the neritic species distribution had relatively grown in both years. These annual results based on the biological indicators of tintinnid species are well matched with the salinity change in the area. The warm oceanic species, *Dadayiella ganymedes* had frequently occurred over the study years and had shown a significant relationship with the salinity change. This is valuable as a key stone species for monitoring the intrusion of the Kuroshio within the northern ECS. Information from tintinnid biological indicators can support physical oceanography data to confirm ambiguous water mass properties.

Key words : tintinnids, warm oceanic species, neritic species, indicator species, water mass movement, East China Sea

1. 서 론

원생생물 중 섬모충플랑크톤에 속하는 유중섬모류

(tintinnids)는 세포를 에워싸는 피갑(lorica)을 가지고 있어 비교적 보존이 잘되기 때문에 이들의 출현은 전 세계의 해역에 걸쳐 보고되어 있다. 수온과 염분에 따른 수괴 지표성이 뛰어난 분류군으로 종 특이적 분포 특성이 명확하여 그 지리적 분포 특성에 따라 범세계종, 연안종, 난류종,

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

냉수종, 남극종으로 크게 구분되고 있다(Pierce and Turner 1993). 특정한 수괴에 종 특이적 분포를 보이는 민감한 출현 특성으로 유충섬모류의 일부 종은 수괴의 지표종으로 제시되어 왔다(Hada 1957; Balech 1972). 여러 해류가 만나는 복잡한 해역에서 이 같은 유충섬모류의 지표성을 이용하여 해역의 특성을 이해하고자 관련 연구가 시도된 바 있다. 북대서양과 북해 그리고 북태평양 서부의 극전선에서 해류의 움직임은 유충섬모류의 분포로 해석하였으며 그 결과 유충섬모류의 수괴 지표성이 잘 입증되었다(Lindley 1975; Kato and Taniguchi 1993). 대서양 남서부 해역에서도 아열대에서 남극해에 걸친 위도에 따라 40종의 유충섬모류 분포가 수괴의 특성과 뚜렷한 연관을 보였으며, 아열대해역, 아열대와 아남극의 중간해역, 아남극해역 그리고 남극해역으로 종의 분포를 구분 지었다(Alder 1999; Thompson and Alder 2005). 최근에는 북서태평양의 적도해역에서부터 필리핀 근해와 일본 남부해역에 이르는 광범위한 유충섬모류의 분포 결과가 보고되어 있으나 각 조사해역에서 유충섬모류 조사시기가 달라 그 분포 결과가 조사 시기의 차이가 원인인지 아니면 실제 공간적 차이를 나타내는지 정확히 판단할 수 없는 한계성을 내포하고 있다(Gómez 2007).

동중국해 북부해역은 대마난류와 같은 외양수 유입, 장강 유출수의 담수 영향, 황해 저층냉수의 남하와 같은 다양한 수괴로부터 영향을 받는 복잡한 해역을 나타내는 해역으로 잘 알려져 있다(Zhang et al. 2007; 장 등 2007; 2011). 이 같이 수괴가 복잡한 해역의 경우, 이동 확산을 통해 수괴의 고유 특성이 소실되기 때문에 물리, 화학적 특성 분석으로 수괴 변동을 파악하기는 쉽지 않다. 유충섬모류는 수환경의 변화에 매우 민감한 종의 분포 특성을 지니고 동시에 세포의 외부에 보존성이 뛰어난 피각을 지니고 있어 사멸 후에도 피각이 수중에 잔존하는 장점을 가지고 있다. 따라서 수괴의 확산에 의해 물리, 화학적 특성은 소실되어도 수괴 내에 존재했던 피각은 남아 수괴의 흔적을 추적할 수 있다(Zeitzschel 1969).

본 연구는 유충섬모류의 우수한 생물학적 수괴 지표성을 이용하여 하계 북부 동중국해 유입 되는 해류 변동의 파악을 시도하였으며 아울러 물리 화학적 조사자료 해석의 생물학적 검증을 통한 신뢰성을 확보하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2006년부터 2011년까지 6년간 하계(7월 하순과 8월 초순 사이)에 한국해양과학기술원 조사선 이어도호를 이용하여 북부 동중국해에서 북측의 관측선 D와 남측의 관측선 B에서 연안에서 외양으로 각각 4개의 정점, D1, D3, D5, D7 그리고 B1, B3, B5, B6의 정점을 선정하여 관측

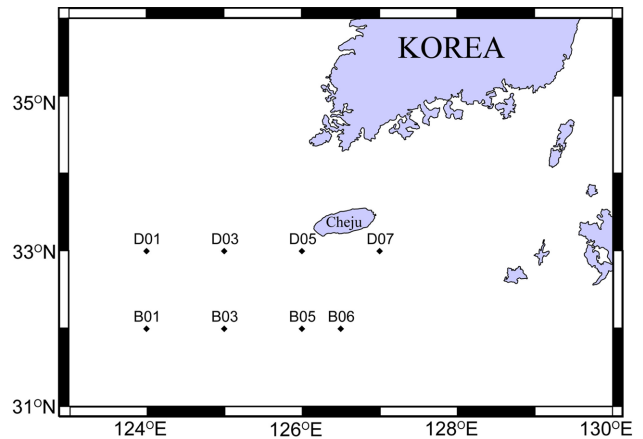


Fig. 1. Sampling sites in summer from 2006 to 2011 in the northern East China Sea

Table 1. Sampling depths averaged at the sampling stations

		Depth (m)
B Line	B1	31 (± 2.2)
	B3	37 (± 7.5)
	B5	52 (± 8.4)
	B6	72 (± 4.5)
D Line	D1	37 (± 4.1)
	D3	60 (± 12.6)
	D5	72 (± 13.3)
	D7	77 (± 5.2)

을 수행하였다(Fig. 1). 2008년에 B1, B6 그리고 2011년에는 B6은 D7은 관측되지 않았다.

유충섬모류는 식물플랑크톤 채집 네트(망목 20 μm)을 이용하여 정점별 수심을 고려하여 수심 30-80 m 깊이에서 표층까지 수직으로 끌어 시료를 채집하였다(Table 1). 네트로 여과된 농축된 시료는 Lugol's solution으로 최종 농도 1% 고정하여 현미경 분석 시료로 사용하였다. 정량 분석을 위해 시료는 Sedgwick-Rafter Chamber를 사용하여 광학현미경하($\times 200$)에서 계수하였으며 종 동정을 위해 고배율($\times 400$) 검경을 병행하였다.

섬모충플랑크톤은 세포가 연약하여 네트 채집 시 물리적 압력으로 세포가 소실될 수 있으며 또한 채집시료의 고정 시에도 세포가 파괴될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 유충섬모류의 피각 내부에 세포가 없는 빈 피각과 세포가 들어 있는 피각이 모두 관찰되는 종의 경우는 비어 있는 피각의 경우도 살아 있었다는 전제 하에 빈피각(empty lorica)과 찬피각(occupied lorica) 전체를 정량, 정성 분석에 포함시켰다.

유충섬모류 분포에 영향을 주는 수환경요인(수온, 염분,

엽록소-a)을 동시에 측정하였으며, 수온과 염분은 CTD (SBE 911)로 선상에서 측정하였으며 엽록소-a는 아세톤

추출법에 의거하여 측정하였다(Parsons et al. 1984). 장강의 유출수량 자료는 웹사이트(www.cjh.com.cn)에 공개된 자료를 추출하여 사용하였다.

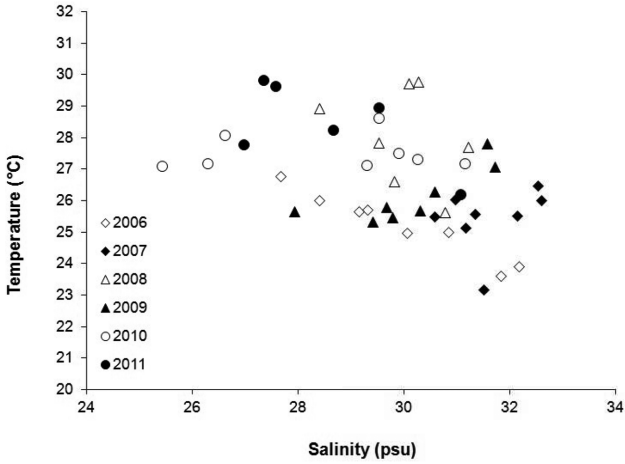


Fig. 2. Temperature and salinity diagram for surface waters in summer from 2006 to 2011 in the northern East China Sea

3. 결과 및 토의

수온과 염분의 변화

2006-2011년 하계 북부 동중국해의 조사정점에서 관측된 표층(수심 2 m)의 수온과 염분의 범위는 Fig. 2와 같다. 수온은 23-30°C의 고수온을 보였으며 염분은 25-33 psu의 넓은 범위의 분포를 보였다. 특히 2010년은 수온의 변화는 대부분의 정점에서 27-28°C로 고수온으로 변화의 폭이 작았으나, 반대로 염분은 정점 간 변화가 가장 큰 특징을 나타냈다. 반대로 2007년은 모든 정점에서 30 psu 이상으로 상대적 고염분의 분포로 타 년도와 차이를 보였다. 2010년의 저염분 수괴는 수심 10 m까지 분포하였으며 중국 연안 근접 정점인 D1과 B1, B3에서 약 26 psu의 낮은 염분 값이 기록되었다(Fig. 3).

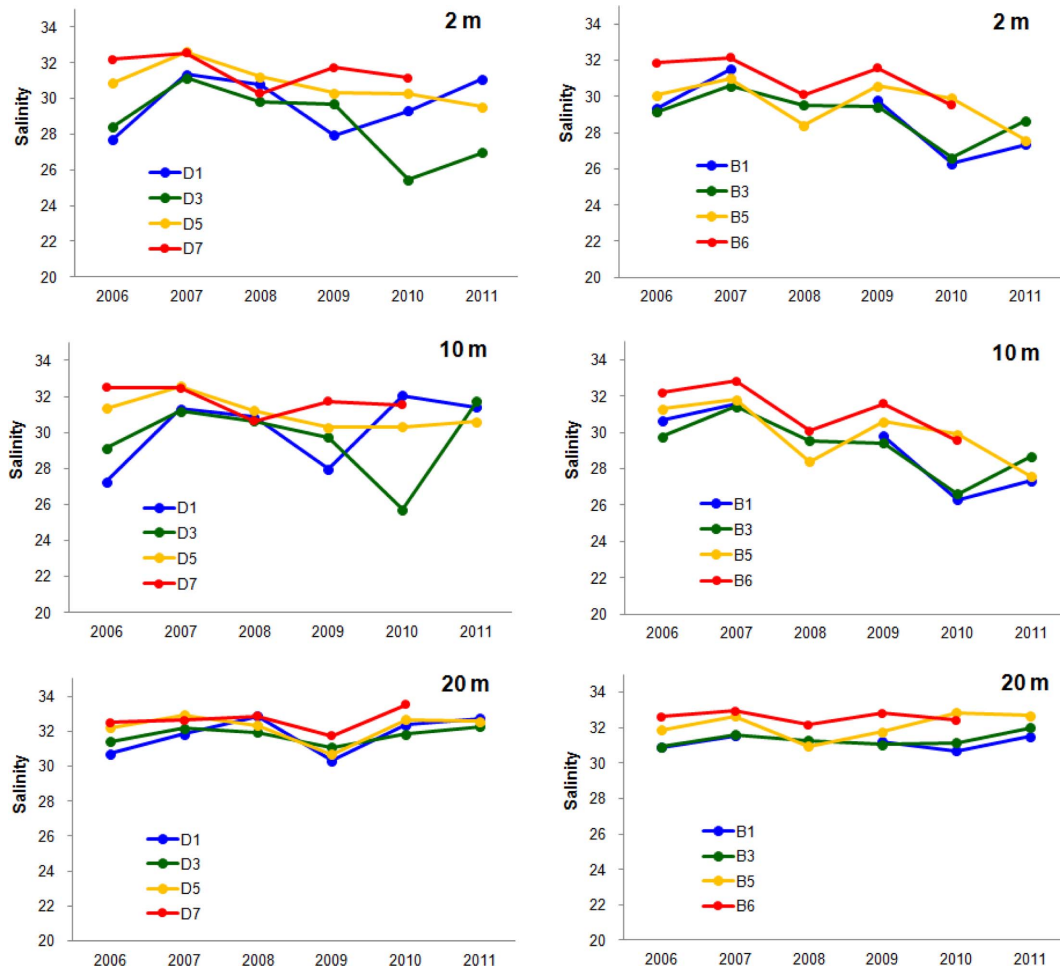


Fig. 3. Annual comparison of salinities in the northern East China Sea

Table 2. Tintinnid species occurred in the northern East China Sea (WO: warm oceanic, CO: cold oceanic, N: neritic)

Species	Habitat	Species	Habitat
<i>Acanthostomella conicoides</i>	WO	<i>Parundella caudata</i>	WO
<i>Acanthostomella norvegica</i>	CO	<i>Parundella inflata</i>	WO
<i>Acanthostomella minutissima</i>	WO	<i>Poroecus apicatus</i>	WO
<i>Amphorides amphora</i>	WO	<i>Protorhabdonella curta</i>	WO
<i>Amphorides minor</i>	WO	<i>Protorhabdonella simplex</i>	WO
<i>Amphorides quadrilineata</i>	WO	<i>Ptychocyclus obtusa</i>	CO
<i>Ascampbelliella acuta</i>	WO	<i>Rhabdonella armor</i>	WO
<i>Ascampbelliella urceolata</i>	WO	<i>Rhabdonella amor</i> v. <i>valdestrata</i>	WO
<i>Brandtiella palliata</i>	WO	<i>Rhabdonella exilis</i>	WO
<i>Climacocyclus scalaria</i>	WO	<i>Rhabdonella poculum</i>	WO
<i>Climacocyclus scalaroides</i>	WO	<i>Rhabdonella spiralis</i>	WO
<i>Codonellopsis morchella</i>	WO	<i>Salpingella acuminata</i>	WO
<i>Codonellopsis orthoceras</i>	WO	<i>Salpingella curta</i>	WO
<i>Codonellopsis</i> sp.	WO	<i>Salpingella laminata</i>	WO
<i>Coxiella</i> sp.	WO	<i>Salpingella subconica</i>	WO
<i>Dadayiella ganymedes</i>	WO	<i>Salpingella</i> sp.	WO
<i>Daturella datura</i>	WO	<i>Steenstrupiella pozzi</i>	WO
<i>Helicostomella subulata</i>	N	<i>Steenstrupiella intrumescens</i>	WO
<i>Dictyocysta elegans</i>	WO	<i>Steenstrupiella steenstrupii</i>	WO
<i>Epiplocyclus undella</i>	WO	<i>Stenosemella nivalis</i>	N
<i>Epiplocyloides ralumensis</i>	WO	<i>Stenosemella pacifica</i>	N
<i>Epiplocyloides reticulata</i>	WO	<i>Stenosemella parvicollis</i>	N
<i>Eutintinnus apertus</i>	WO	<i>Stenosemella ventricosa</i>	N
<i>Eutintinnus conicus</i>	WO	<i>Stenosemella steini</i>	N
<i>Eutintinnus elegans</i>	WO	<i>Stenosemella</i> sp.	N
<i>Eutintinnus fraknoi</i>	WO	<i>Tintinnopsis beroidea</i>	N
<i>Eutintinnus lusus-undae</i>	N	<i>Tintinnopsis brasiliensis</i>	N
<i>Eutintinnus pacificus</i>	WO	<i>Tintinnopsis directa</i>	N
<i>Eutintinnus perminatus</i>	WO	<i>Tintinnopsis diversicervica</i>	N
<i>Eutintinnus stramentus</i>	WO	<i>Tintinnopsis lohmanni</i>	N
<i>Eutintinnus tubulosus</i>	N	<i>Tintinnopsis nordqvisti</i>	N
<i>Favella ehrenbergii</i>	N	<i>Tintinnopsis parvula</i>	N
<i>Metacyclus jorgenseni</i>	WO	<i>Tintinnopsis radix</i>	N
<i>Metacyclus pithos</i>	WO	<i>Undella claparedei</i>	WO
<i>Parafavella gigantea</i>	CO	<i>Xystonella treforti</i>	WO

유충섬모류 출현종 구성

2006-2011년 하계 북부 동중국해의 조사정점에서 유충섬모류는 총 28속 70종이 관찰되었다. 기존 보고된 문헌에 근거하여 연안해역에 주로 분포하는 종은 18종, 외양성 난류종은 49종, 외양성 냉수종은 3종으로 확인되었다 (Table 2). 연안종은 대부분이 *Tintinnopsis*와 *Stenosemella* 속에 속하는 종으로 구성되어 있었다(Fig. 4). 외양성 난류

종은 쿠로시오 지표성을 지닌 종으로 출현종 수를 구성하고 있었다. 따라서 하계 북부 동중국해는 쿠로시오의 영향을 크게 받고 있음이 시사되고 있으며 이는 잘 알려진 사실이다. 그러나 *Acanthostomella norvegica*, *Parafavella gigantea*, *Ptychocyclus obtusa*와 같은 외양성 냉수종이 관찰됨은 새롭게 주목되는 결과라 할 수 있다(Fig. 4). 이 종들은 오야시오의 지표종으로 선별되어 서부 북태평양 극

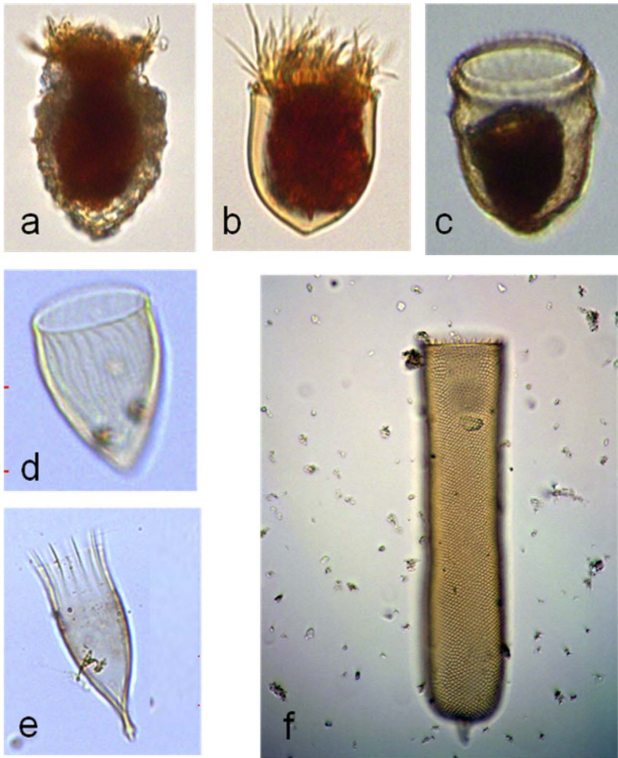


Fig. 4. Photomicrographs of tintinnid species collected from in the northern East China Sea, (a) *Stenosemella* sp., (b) *Acanthostomella norvegica*, (c) *Ptychocylis obtusa*, (d) *Protorhabdonella curta*, (e) *Dadayiella ganymedes*, (f) *Parafavella gigantea*

전선에 유입되는 복잡한 수괴의 이동을 분석하는데 적용된 바 있다(Kato and Taniguchi 1993). 본 해역에서도 이들 냉수종이 비록 드물지만 그 출현이 북측의 관측선 D에서 확인되었기에 북부 동중국해는 하계에도 냉수유입의 영향을 받고 있다고 판단된다. 이 같은 결과는 하계에 북부 동중국해는 황해저층냉수가 남하하여 저층에 냉수괴가 분포한다는 장 등 (2011)의 연구결과를 뒷받침하는 생물학적 자료라 할 수 있다.

유중섬모류 분포 연변화

관측선 D의 조사정점 중 정점 D1, D3에서는 연안종의 출현이 우세하였으며 정점 D5, D7에서는 외양성 난류종의 출현종수가 크게 증가하였다. 특히, 2007년 하계에는 내측 정점까지 난류성 쿠로시오 지표종이 출현하였다. 2007년은 관측정점에서 30 psu 이하의 저염수가 나타나지 않은 시기였다(Figs. 2, 3). 따라서 2007년 북부 동중국해는 상대적으로 대마난류의 세력이 커서 연안 근접의 정점까지 유중섬모류의 난류 지표종이 출현하였다고 판단된다. 2008년의 경우 중국 연안의 근접 정점 D1과 D3뿐 아니라 D5에서도 연안종의 출현 증가가 확인되었다(Fig. 5). 장강 유출수가 북부 동중국해에 유입되는 과정은 바람에 의한 이류의 영향이 크다고 언급된 바 있다(Kim et al. 2009). 2008년에는 최대 풍속 17.4 m s^{-1} 의 강한 남풍계열의 바람이 기록되었으며 최대 두께 15 m 평균 29.3 psu의 저염분 수괴가 관측되었고 동시에 대규모 녹조(가시파래)

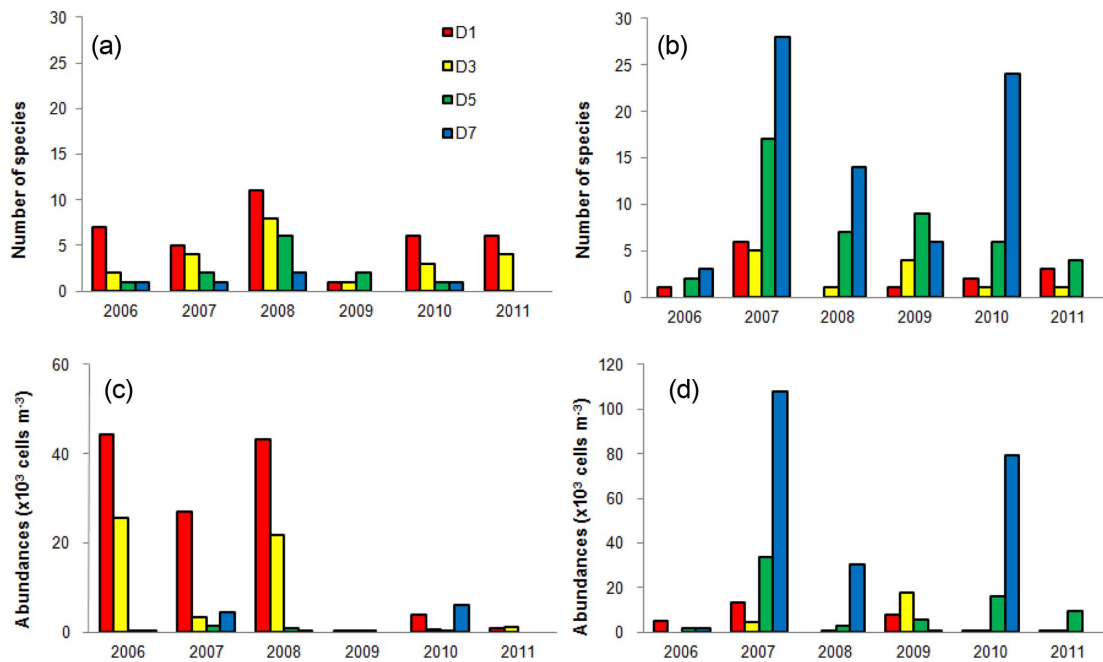


Fig. 5. Annual comparison of neritic and oceanic tintinnid species numbers (a, b) and neritic and oceanic species abundances (c, d) at the D line sampling stations in the northern East China Sea

가 북부 동중국해에서 발견되었다(최 등 2010). 따라서 2008년은 타 년도에 비해 바람에 의해 중국 연안수의 확산이 컸다고 판단된다. 2008년 유충섬모류의 분포도 연안종의 출현이 외측의 정점까지 확인된 이와 같은 연안수의 확산을 뒷받침하는 생물학적 지시성이 잘 나타나는 결과라 할 수 있다. 2010년도 조사기간 중 염분이 가장 낮아 연안수의 영향이 가장 크리라 예측되는 시기이며, 유충섬모류의 분포는 관측선 D의 경우, 내측의 정점에서는 연안종의 분포가 감지되나 외측의 정점에서는 외양종의 출현이 두드러진 결과를 보였다. 이 같은 결과는 동시기 염분의 분포와 잘 일치하고 있다. 즉, 외양종이 우세한 분포를 보인 D 관측선의 외측 정점 D5, D7은 30 psu 이상의 고염분이 기록된 반면 내측의 정점은 30 psu 이하의 낮은 염분을 보였기 때문에 내측과 외측의 정점간의 종구성이 차이를 보였다고 판단된다(Fig. 3).

관측선 D에서 측정된 유충섬모류 개체수의 정점별 연변화를 살펴보면, 연안종 개체수는 최내측 정점인 정점 D1에서 2006년부터 2008년까지 2×10^4 cells m^{-3} 수준의 높은 개체수로 분포하였으나 그 이후 년도에는 6×10^3 cells m^{-3} 이하의 낮은 밀도로 정점간의 큰 차이는 보이지 않았다. 외양종의 개체수는 최외측 정점인 D7에서 2007년과 2010년에 두드러진 증가가 주목되었다(Fig. 5). 2009년의 경우 관측선 D의 전체 정점에서 낮은 출현종수와 개체수를 보였으며 정점간의 유충섬모류 분포는 큰 차이를 보이지 않았다. 즉 2009년 하계는 유충섬모류의 분포로 볼 때 타 년도에 비해 외측과 내측 수괴의 특징이 명확하게

구분되지 않는 년도로 해석된다. 2009년 하계의 경우 쿠로시오 기원수의 폭과 넓이가 관측기간 중 가장 적게 나타났고 두꺼운 혼합층이 존재함이 보고되어 있다(국토해양부 2011). 따라서 유충섬모류의 수괴 지표성은 이 같은 북부 동중국해 수괴의 혼합 특성도 반영하고 있다고 할 수 있다.

관측선 B의 경우 전체 조사년도에 걸쳐 모든 정점에서 연안종의 출현이 확인되었다. 대부분의 시기에 최내측의 정점 B1에서 연안종의 출현종수가 높았으며 2006년 정점 B1에서 연안종 개체수는 4×10^4 cells m^{-3} 의 최고치를 기록했다(Fig. 6). 2008년에는 B1과 B6는 관측되지 않았으나 B3에서 상대적으로 높은 연안종수가 관찰되었다. 따라서 관측선 B에서도 관측선 D와 유사하게 2008년에는 연안수의 세력이 외측으로 확산되었다고 판단된다. 외양종의 경우 2007-2009년 외측의 정점인 B5와 B6에서 다양한 종구성을 보였으며 특히 2007년의 경우 정점 B5에서 약 3×10^5 cells m^{-3} 의 최고의 개체수를 기록함으로 관측선 B는 관측선 D와 유사하게 2007년은 외양수의 영향을 크게 받았다고 판단된다. 그러나 2010년에는 관측선 B에서는 관측선 D의 결과가 다르게 전체정점에서 연안종만 출현하였고 이 시기 관측선 B의 정점들은 30 psu 이하의 낮은 염분 분포를 나타냄으로 저염수의 영향이 시사되었다(Fig. 6a, b).

2010년의 경우 염분 값으로 보면 연안수의 영향이 가장 크다고 예측되지만 연안종의 종수와 개체수는 큰 폭의 증가는 보이지 않았다. 이는 저염분 수괴가 가지는 특성이

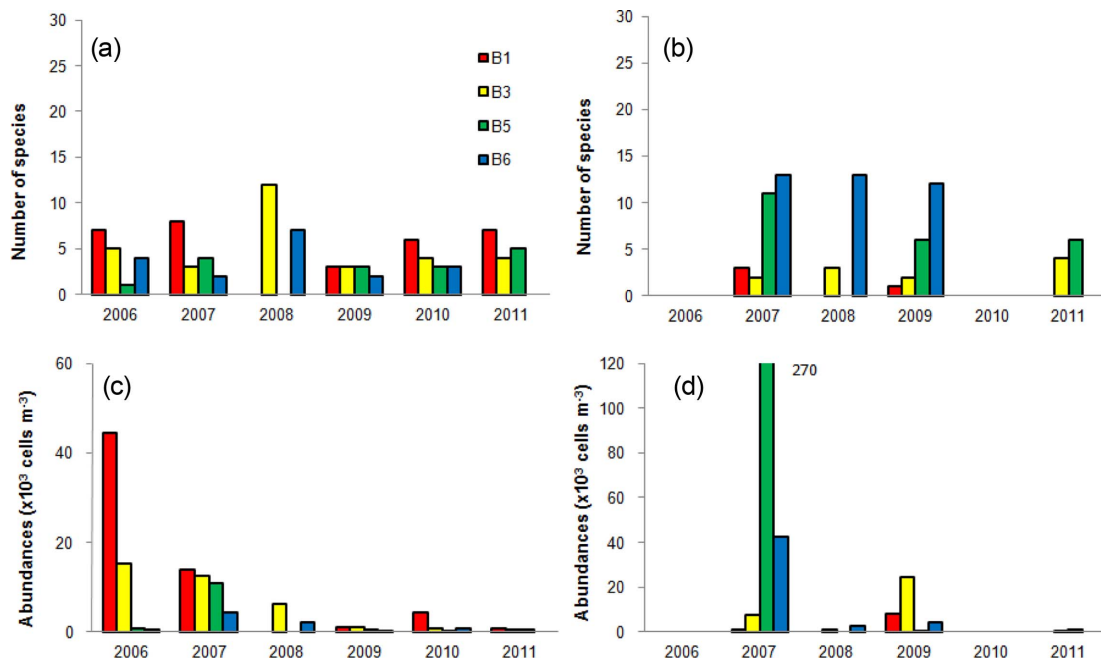


Fig. 6. Annual comparison of neritic and oceanic tintinnid species numbers (a, b) and neritic and oceanic species abundances (c, d) at the B line sampling stations in the northern East China Sea

시기적으로 다르기 때문으로 판단된다. 즉 유충섬모류의 먹이 환경을 나타내는 엽록소-a 농도에 영향을 미치는 영양염 등의 조건이 유충섬모류의 종수와 개체수의 변화를 유도할 수 있다고 판단된다. 2008년의 경우 높은 엽록소-a, 2010년에는 인산염 제한으로 낮은 엽록소-a의 저염분 수괴 환경이 보고되어 있다(국토해양부 2011). 따라서 이 같은 2010년 수괴의 특성이 연안종의 분포 발달을 저해하였다고 사료된다. 아울러 조사기간 중 2009년부터 유충섬모류의 개체수가 현저하게 낮아지는 결과가 나타났다. 2006년부터 2011년까지 장강의 저염분수에서 부유물질의 농도가 감소하고 있으며 질산염과 인산염의 변동으로 엽록소-a와 일차생산력이 감소하였음이 보고되었으며 유충섬모류의 개체수 감소도 이와 관련되어 있다고 생각된다(국토해양부 2011). 이를 입증하기 위해 차후 관련 자료의 수집과 분석을 통해 추가적 해석이 필요하다.

유충섬모류 출현 특성과 수환경요인과 관계

장강 유출수량 연변화

본 연구의 조사시기인 하계에 북부 동중국해에 영향을 미치는 담수의 영향은 주로 장강 유출수량의 변화에 큰

영향을 받는다고 보고되어 있다. 본 조사시기인 하계의 경우 주로 7월과 8월에 유출되는 담수의 영향을 받게 된다. 중국에서 공개하고 있는 자료를 통해 살펴보면 2006년과 2011년에는 약 60,000 m³/sec로 상대적으로 유출수량이 타 년도에 비해 낮았으며 가장 높은 유출수량은 2010년 약 110,000 m³/sec로 2006년과 2011년에 비해 약 2배 높은 방출량을 기록했다(Fig. 7). 즉, 2010년이 가장 담수의 영향을 크게 받는 년도라 할 수 있으며 특히, 장강 하구에 인접해 있는 관측선 B의 정점들은 동시기 큰 영향을 받게 된다고 판단된다. 2010년도에만 관측선 B의 전체정점에서 유충섬모류의 분포는 연안종만 출현하였고 외양성 난류종의 출현은 감지되지 않았음은 이 같은 장강의 높은 유출수량에 따른 담수의 확산이 넓은 범위로 영향을 미친 결과라 할 수 있다. 그러나 유충섬모류 분포를 토대로 보면 상대적 외양수의 세력이 우세했다고 판단되는 2007년에도 장강 유출수량은 2010년 다음으로 많았으며, 반대로 연안수의 세력이 우세했다고 판단되는 2008년에는 장강 유출수량의 두드러진 증가는 볼 수 없었다. 즉 저염분의 분포는 유출수량 뿐 아니라 바람의 영향을 동시에 받으며 이에 관한 해석을 위해 차후 관련 자료의 심층적 검토가 추가되어야 한다.

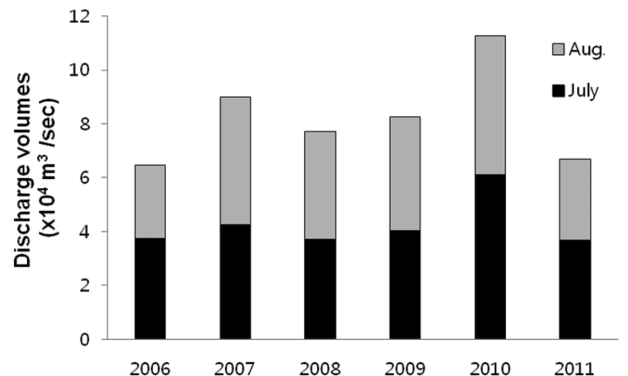


Fig. 7. Annual comparison of discharge volumes from Changjiang River

수환경요인과 유충섬모류 분포

본 연구결과 6년간 관측선 B와 D의 전체정점에서 획득한 수환경요인(수온, 염분, 엽록소-a)과 유충섬모류 출현종수와 개체수의 상관관계를 분석하였다. 유충섬모류의 개체수와 출현종수 모두 수온과 엽록소-a와는 유의성 있는 상관을 보이지 않았으나, 염분의 경우는 외양성 난류종 출현종수와 유의성 있는 양의 상관관계($r=0.532, p<0.001$)를 보였으며 반대로 연안종수와 염분의 변동과 유의성 있는 상관관계는 보이지 않았다(Fig. 8). 전체 조사년도에 걸쳐 관찰되어 가장 높은 빈도의 출현을 보이는 종은 외양성 난류종인 *Dadayiella ganymedes*였다(Fig. 2). 이 종의

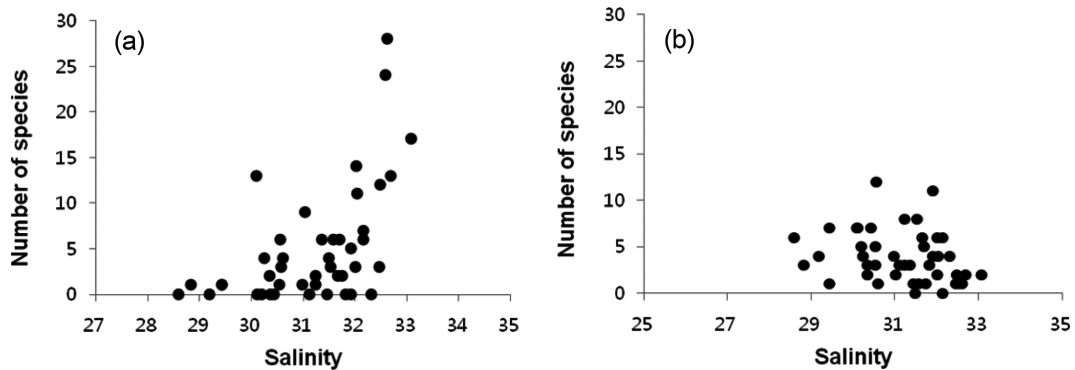


Fig. 8. Relationships between salinity (psu) and oceanic tintinnid species number (a) and neritic tintinnid species number (b)

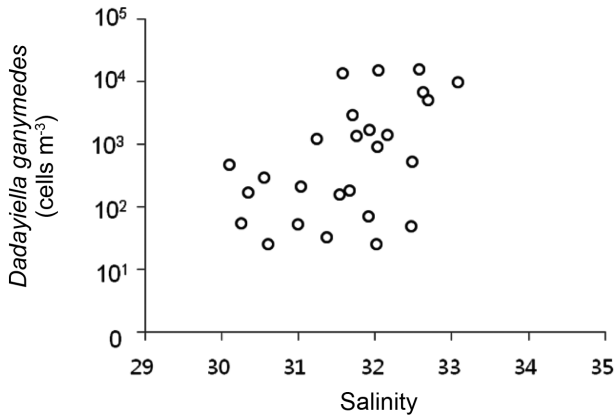


Fig. 9. Relationships between salinity (psu) and abundance of a dominant oceanic tintinnid species, *Dadayiella ganymedes*

개체수 변화는 염분 변화와 유의성 있는 양의 상관관계 ($r=0.430, p<0.005$)를 보였다(Fig. 9). 즉 염분이 높은 외측의 수역에서 높은 출현종수를 보이는 본 종은 향후 북부 동중국해에서 대마난류의 영향을 분석하는 지표종으로 활용이 가능하다고 판단된다.

또 하나의 주목되는 종은 2009년 대표우점종으로 관찰된 외양성 난류종 *Protorhabdonella curta*이다. 이 종은 정점 B3와 D3에서 10^4 cells m^{-3} 이상의 높은 개체수가 기록되었으며, 정점 B3와 D3는 내측에서 외측으로 가면서 염분이 증가하여 30 psu 이상이 기록되는 정점이다(Figs. 3, 10). 이 같이 관측선 B와 D 위에서 동일하게 동경 125도 부근에서 *P. curta*는 집약적 분포를 보였고 타 연도에는 낮은 개체수로 간헐적 출현만이 감지되었다. 이와 같이 북부 동중국해의 연도별 하계의 유충섬모류의 우점종의 변화는 조사연도에 따른 차이를 크게 보이고 있었다. 이는 북부 동중국해는 다양한 주변수의 영향을 받고 있으며 바람의 방향과 세기에 따른 주변수의 확산이 역동적으로 변화함으로 유충섬모류의 종의 지리적 분포에도 이와 같은

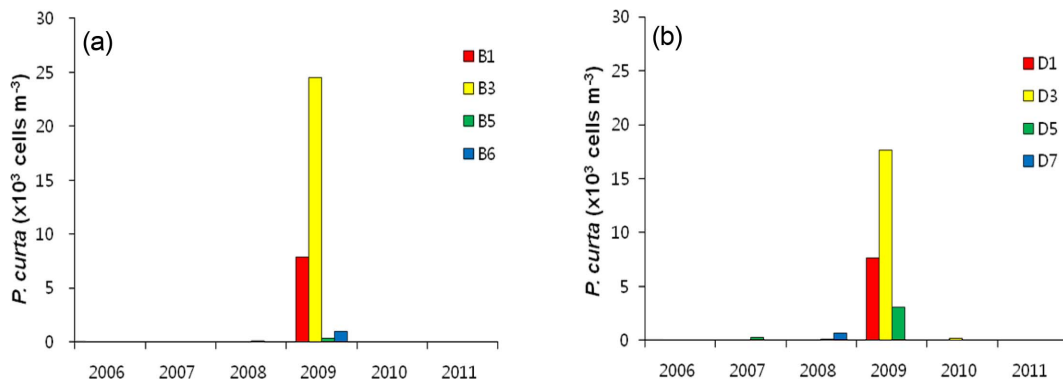


Fig. 10. Annual comparison of *Protorhabdonella curta* abundances at the B line (a) and the D line (b) sampling stations in the northern East China Sea

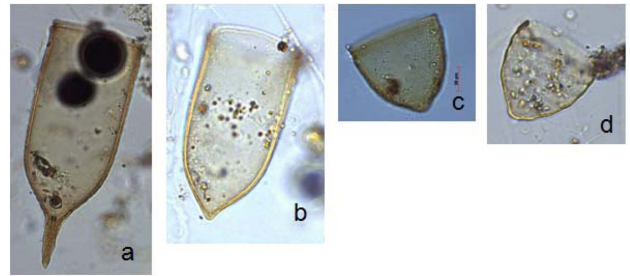


Fig. 11. Photomicrographs of *Favella ehrenbergii* (a) and its lorica variation, (b) azorica form, (c) metacylis form, and (d) coxliella form

특성이 반영된다고 할 수 있다.

유충섬모류 출현종의 형태 변이

출현한 유충섬모류 중, 고수온기 대표적인 연안종으로 알려진 *Favella ehrenbergii*는 연안수의 영향이 상대적으로 컸던 2006년과 2008년에 우점적으로 출현하였다. 2006년 북측의 중국 연안 근접 정점인 D1에서는 *Favella ehrenbergii*가 우점적으로 출현하였으며 이 시기 관찰된 피각의 모양은 말단의 돌기가 소실된 azorica 형태와 피각의 길이가 짧게 축소된 metacylis 형태가 대부분으로 각각 6×10^3 cells m^{-3} 과 1.4×10^4 cells m^{-3} 의 개체수 분포를 보였다. 2008년에도 D1에서는 정상적인 형태가 분포하였으나 정점 D3, D5, D7에서는 비록 개체수는 적으나 coxliella form으로 변형된 형태만 출현하였다(Fig. 11). 연안수의 영향이 컸던 2010년의 경우 *Favella ehrenbergii*가 관찰되지 않았으며 이는 이들의 존속에 필요한 먹이환경인 엽록소-a가 낮았기 때문으로 생각된다(국토해양부 2011). *Favella ehrenbergii*는 생활사 내에서 피각의 모양의 변이가 심한 종류로 알려져 있다(Laval-Peuto 1981; Kim et al. 2010). 이 같이 북부 동중국해에서 발견되는 *Favella ehrenbergii*의 피각 형태 변이는 하계 중국의 연안

에 분포하는 정상적인 형태의 집단이 수괴의 확산 거치면서 수괴 내의 수환경 조건의 변화로 비정상적인 형태의 피각을 만들어 존속했기 때문으로 사료된다. 연안으로부터 유입된 저염수 수괴의 노화 과정을 본 종의 형태변화를 지표로 적용 가능한지 향후 추가 연구가 필요하다.

4. 결 론

유중섬모류의 우수한 생물학적 수괴 지표성을 이용하여 2006-2011년 6년간 하계에 북부 동중국해 분포하는 수괴의 특성을 파악하고자 하였다. 2007년은 연안 정점까지 쿠로시오 지표성 유중섬모류가 출현함으로 연안수의 세력이 약화된 반면 상대적으로 쿠로시오의 확장이 두드러졌다고 판단된다. 반면에 2008년과 2010년은 연안종이 출현이 우세함으로 타 년도에 비해 중국 연안수가 북부 동중국해에 미치는 영향이 컸다고 사료된다. 이와 같은 유중섬모류 중 분석을 통한 생물학적 지표성은 염분, 바람, 장강 유출수량과 같은 물리학적 기준 보고 자료와도 잘 일치하였다. 유중섬모류 우점종의 출현은 연도별 차이를 보였으며 대표적 우점종은 쿠로시오 지표종인 *Dadayiella ganymedes*와 *Protorhabdonella curta*, 연안종인 *Favella ehrenbergii*였다. 높은 빈도로 출현한 *D. ganymedes*의 개체수는 염분과 양의 상관관계를 보였으며, *F. ehrenbergii*는 형태적 변이를 일으킨 개체가 높은 개체수로 출현함이 본 해역에서 나타난 특징이었다. 동중국해와 같은 복잡한 해역의 수괴 특성을 이해하기 위해서는 물리학적 방법과 유중섬모류의 분포와 같은 생물학적 방법을 동시에 적용하면 보다 신뢰성 있는 연구결과를 확보할 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 국토해양부 기후변화가 남해권역 해양생태계에 미치는 영향 및 기능평가 기술개발(PM56600) 사업의 지원을 받아 수행된 연구임. 본 연구를 위해 현장 탐사에 수행하신 한국해양연구원 연구원 그리고 이어도호 선원들에게 감사드립니다. 아울러 본 논문을 위해 세밀하게 지적해 주신 심사위원님들께 감사를 올립니다.

참고문헌

국토해양부 (2011) 산사면 건설로 인한 남해(동중국해)의 해양환경 영향 연구. 한국해양연구원, BSPM56340-10031-5, 257 p

장성태, 이재학, 홍창수 (2007) 하계 동중국해 북부 해역에서의 해수 혼합. 한국해양학회지 「바다」 12:390-399

장성태, 이재학, 김철호, 장찬주, 장영석 (2011) 하계 동중국해 북부 해역에서 저층 냉수괴의 거동. 한국해양학회지 「바다」 16:1-13

최동림, 노재훈, 유주형, 이재학, 장풍국, 이태희, 최동환 (2010) 2008년 여름철 북부 동중국해에서 대규모 녹조(가시파래) 출현. Ocean and Polar Res 32:351-359

Alder VA (1999) Tintinninea. In: Boltovskoy D (ed) South Atlantic Zooplankton. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherland, pp 321-384

Balech E (1972) Los tintinnidos indicadores de afloramientos de aguas (Ciliata). Physis, Buenos Aires 31:519-528

Gómez F (2007) Trends on the distribution of ciliates in the open Pacific Ocean. Acta Oecologica 32:188-202

Hada Y (1938) Studies on the Tintinninea from the western tropical Pacific. J Fac Sci Hokkaido Imp Univ Ser VI, Biol 7:553-573

Hada Y (1957) The Tintinninea, useful microplankton for judging oceanographical conditions. Inf Bull Plankton Japan 5:10-12

Kato S, Taniguchi A (1993) Tintinnid ciliates as indicator species of different water masses in the western North Pacific Polar Front. Fish Oceanogr 2:166-174

Kim D, Choi SH, Kim KH, Shim J, Yoo S, Kim CH (2009) Spatial and temporal variations in nutrient and chlorophyll-a concentrations in the northern East China Sea surrounding Cheju Island. Cont Shelf Res 29:1426-1436

Kim SY, Yang EJ, Gong J, Choi JK (2010) Redescription of *Favella ehrenbergii* (Claparède and Lachmann, 1858) Jörgensen, 1924 (Ciliophora: Choreotrichia), with phylogenetic analyses based on small subunit rRNA gene sequences. J Eukaryot Microbiol 57:460-467

Laval P (1981) Construction of the lorica in ciliata Tintinnina in vivo study of *Favella ehrenbergii*: Variability of the phenotypes during the cycle, biology, statistics, biometry. Protistologica 17:249-272

Lindley JA (1975) Continuous plankton records: a plankton atlas of the North Atlantic and North Sea: Supplement 3-Tintinnida (Protozoa, Ciliophora) in 1965. Bull Mar Ecol 8:201-213

Parsons T, Maita Y, Lalli CM (1984) A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, New York, USA, 173 p

Pierce RW, Turner J (1993) Global biogeography of marine tintinnids. Mar Ecol-Prog Ser 94:11-26

Thompson GA, Alder VA (2005) Patterns in tintinnid species composition and abundance in relation to hydrological conditions of the southwestern Atlantic during austral spring. Aquat Microb Ecol 40:85-101

Zhang L, Liu Z, Zhang J, Hong GH, Park Y, Zhang HF

(2007) Reevaluation of mixing among multiple water masses in the shelf: An example from the East China Sea. *Cont Shelf Res* **27**:1969-1979

Zeitzschel B (1969) Tintinnen des westlichen Arabischen Meeres, ihre Bedeutung als Indikatoren für Wasserkörper und Glied der Nahrungskette. *Forsch Ergebn 'Meteor'*

(Reihe D) 4:47-101

Received Apr. 30, 2012

Revised May. 16, 2012

Accepted May. 18, 2012