

Note

한국에 입항한 선박 밸러스트 수에 존재하는 해양 부유생물

유정규* · 송태윤 · 홍현표 · 정경미 · 명철수

(주)이엔씨 기술연구소
(405-839) 인천광역시 남동구 구월 4동 1319-3 양지빌딩 3층

Marine Plankton in Ballast Water of Ship Entering Korea

Jeong-Kyu Yoo*, Tae-Yoon Song, Hyun-Pyo Hong, Kyung-mi Jeong, and Chul-soo Myung

*Environmental Engineering and Consultant Technology Institute
Incheon 405-839, Korea*

Abstract : Various marine plankton were observed in the ballast water of vessels entering Incheon and Busan harbors. The ballast water of which age ranged from 2 to 54 days originated from the coastal waters of New Zealand, Taiwan, Singapore, Japan, Hong Kong and Pakistan, and from the Pacific Ocean. The total number of marine plankton taxa in 9 ballast tanks of different ships was 170: 90 phytoplankton, 24 protozoa and 56 zooplankton. The most diverse taxonomic groups were diatoms in phytoplankton, ciliates in protozoa and copepods in zooplankton. Classifying the specimens by size, above 50% of the number species of phytoplankton belonged to the size range between 50 and 150 μm . Protozoa and metazooplankton were found frequently in the size range between 50 and 120 μm , and 500 and 1,000 μm , respectively. The relationship between the species number and the age of ballast water was not significant. This is because of difference of filtration amounts derived from discordance of collecting samples. Among plankton observed in ballast water, some harmful algae and non-indigenous aquatic species were identified. Therefore, we need to investigate whether these species can inhabit in Korean coastal waters in further study.

Key words : ballast water, diatoms, ciliates, copepods, harmful algae

1. 서 론

선박은 항해 시 적당한 복원성을 유지하고 홀수나 배의 앞뒤 경사를 조절하기 위해 배의 하부에 중량물을 싣게 된다. 이런 중량물은 대부분 해수로 채워지며 이를 밸러스트 수(ballast water)라고 한다. 만재 상태에서는 충분한 복원력과 적당한 홀수를 가지게 되어 안정적인 항해가 가능하지만 공선 상태에서는 홀수 및 배의 앞뒤 경사가 부적절하고 복원력이 충분치 않기 때문에 밸러스트 탱크에 해수를 실어 이를 조절하며 항해를 하게 된다.

생태계에서 외래종의 유입은 심각한 문제로 인식되어 왔다(Elton 1958). 과거에 외래종의 유입은 육상생물로 한

정되어 알려져 왔으나, 국가 간 교역이 확대되면서 해상을 통한 물질 이동이 증가하여 외래 해양생물의 유입은 국가 간 문제로 대두되고 있다. 선박에 의한 밸러스트 수의 수송에 의해 해양에 서식하는 다양한 생물종이 전 지구적 규모로 전파되고 있으며, 밸러스트 수는 해양 외래종 유입의 가장 주된 요인으로 간주되고 있다(Carlton 1985). 최근 수십 년 간 선박기술의 발달로 선박의 크기와 속도의 증가에 힘입어 전 세계 물질 수송의 80% 이상을 차지하는 해상 수송에 의해 한해 동안 전 세계의 밸러스트 수의 수송량은 꾸준히 증가하고 있으며, 이에 따라 밸러스트 수는 중요한 국제적 오염물질로 대두되었다. 밸러스트 수에 의해 유입될 수 있는 생물종은 어류, 무척추 동물, 박테리아, 해조류와 동식물플랑크톤 등 다양한 것으로 전해지고 있다(Carlton 1985; Jones 1991; Mills *et al.* 1993;

*Corresponding author. E-mail : jkyoo@ecocean.co.kr

McCarthy and Khambaty 1994; Gosselin *et al.* 1995). 밸러스트 수의 배출과 함께 유입되는 외래 생물종은 주변 환경에 적응할 경우 번식을 통해 당 해역에 토착화되면서 시간이 경과함에 따라 인근 해역으로 확산될 소지가 높다 (Carlton 1985). 외래종의 번식 정도에 따라 토착종이 외래종으로 대체되고 기존 생태계의 먹이망에 큰 변화를 초래하여 상위 단계의 유용수산생물에까지 영향을 미쳐 어장의 변화를 초래할 수도 있다. 결과적으로 해양 외래종의 유입은 인간을 비롯한 해양 생태계에 영향을 미칠 수 있으며, 수산자원에 경제적 손실을 가져올 수 있다 (Hebert *et al.* 1989; Carlton and Geller 1993; Chu *et al.* 1997). 따라서 선진국을 비롯한 세계 각국은 수 년 전부터 밸러스트 수의 배출에 따른 영향평가를 수행해왔고 규제 조항을 수립하려는 노력을 해오고 있는 실정이다. 국내 한반도 주변 국가에서는 일본, 중국, 싱가포르 등이 밸러스트 수에 관한 협약 및 연구 활동에 주도적인 역할을 담당하며 앞으로 이에 관한 협약 및 국제법 등의 제정 및 발효과정에서 자국의 이익을 위해 노력할 것으로 보인다. 그러나 현재까지 국내에는 이러한 평가나 연구가 전무한 실정이고 또한 밸러스트 수의 배출 규제에 대한 인식이 미비하였다.

본 조사는 국제적으로 강화되고 있는 밸러스트 수의 배출에 관한 규제 노력에 맞추어 국내에 입항하는 선박에 대한 밸러스트 수의 체계적인 관리 및 규제에 필요한 기초 증거자료로서 밸러스트 수에 존재하는 해양 부유생물상을 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

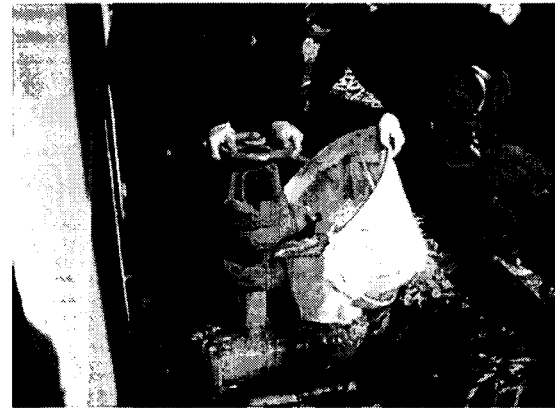
밸러스트 수에 존재하는 해양 동·식물상을 조사하기 위하여 2003년 9월부터 2004년 2월까지 인천항 및 부산항에서 각각 2회씩 총 4회에 걸쳐 국내 해양이 아닌 다른 곳에서 밸러스트 수가 취수된 선박을 정하여 조사하였

다. 조사 기간 중 총 8척 선박의 9개 밸러스트 탱크에서 시료를 채집하였다 (Table 1).

해양 부유생물은 식물플랑크톤, 후생동물플랑크톤으로 구분지어 시료를 채집하였으며, 식물플랑크톤 채집과 동



(a)



(b)

Fig. 1. Collecting samples in ballast water. (a) by opening the manhole cover on the ballast tank, (b) by fire pump connecting to the ballast tank.

Table 1. Properties of vessels and information of the ballasting.

Port	Name of vessel	Use of ship	Ballasting date	Location of Ballasting
Incheon	OCEAN JADE	Timber Carrier	2003. 7. 30	Nelson, NZ
	CRIMSON FOREST	Timber Carrier	-	Coastal area of Taiwan
Busan	IMARI	Container Ship	2003. 10. 13	Coastal area of Singapore
	IMARI	Container Ship	2003. 10. 17	Coastal area of Hongkong
	HYUNDAI DOMINION	Container Ship	2003. 8. 16	48°12'08"N, 170°54'06"E
Busan	ZOIS	Container Ship	2003. 11. 6	24°31.5' N, 173°19.0' E
	HYUNDAI ADVANCE	Container Ship	2003. 12. 3	Port Karachi, Pakistan
Incheon	PEARL RAY	Car carrier	2004. 1. 14	Pacific ocean(near U. S)
	M.V. MELBOURNE HIGHWAY	Car carrier	2004. 2. 11	near Japan

시에 원생동물플랑크톤의 채집도 병행하였다. 모든 조사 항목에서 선박의 구조적 차이, 승조원 협조와 의사소통 문제로 정량 채집 방법을 표준화하지 못하여 정성 조사를 수행하였다. 시료의 채집은 갑판이나 선내에 위치한 밸러스트 탱크의 맨홀을 개방하여 네트를 수직 인양하였으며 (Fig. 1a), 탱크의 맨홀에 접근이 용이하지 않은 경우에는 갑판에서 밸러스트 탱크와 연결된 소화전 펌프를 이용하여 배출되는 밸러스트 수를 펌프의 입구에서 네트로 여과하며 시료를 농축, 채집하였다(Fig. 1b). 위의 두 가지 방법이 수월치 않은 경우에는 기관실에서 직경 5 mm의 관을 통해 나오는 밸러스트 수를 채집병에 모은 후 네트로 여과하여 시료를 농축하였다. 식물플랑크톤과 원생동물플랑크톤의 채집은 망구 45 cm, 망목 20 μ m의 키타하라 (Kitahara) 네트를 이용하였으며, 후생동물플랑크톤은 망구 45 cm, 망목 200 μ m의 원추형 네트를 이용하여 채집하였다. 채집과 동시에 밸러스트 수의 온도와 염분을 T-S conductivity(YSI-33)를 이용하여 측정하였으며, 인천 및 부산항 내에서 해수의 온도 및 염분도 측정하였다. 네트의 버킷에 농축된 시료는 50 ml conical tube로 옮긴 후 식물플랑크톤은 루골 용액(Lugol's solution)으로 고정하였으며, 원생동물플랑크톤은 보인 용액(Bouin solution)과 증성 포르말린(formalin)으로 고정하였다. 그리고 후생동물플랑크톤은 증성 포르말린으로 시료 내 최종 농도가 4~5%가 되도록 고정하였다.

채집 후 고정된 식물플랑크톤과 원생동물플랑크톤은 광학현미경(Olympus, BX51), 그리고 후생동물플랑크톤은 해부현미경(Olympus, SZX12)으로 검경하여 동정하였다. 후생동물플랑크톤 중 해부현미경으로 동정이 어려운 종은 부속지를 해부하여 광학현미경(Olympus, BX51)으로 검경하여 구분하였다. 생물종은 종(species) 또는 속(genus) 수준까지 동정하였으며, 종 또는 속 구분이 어려운 생물종은 상위 단계 분류군으로 구분하였다. 현미경 하에서 구분된 해양 동·식물플랑크톤은 광학현미경 하에 부착된 디지털 카메라(Carl Zeiss, AxioCam HRc)로 촬영하여 종 구분 및 기록에 이용하였으며, 플랑크톤 크기(길이)는 현미경

의 눈금, 또는 디지털 카메라로 촬영 후 소프트웨어(AxioVision 4.0)를 이용하여 크기를 측정하였다. 식물플랑크톤은 폭과 너비를 측정하였으며, 크기의 기본 자료로서 긴 쪽의 길이를 크기로 취하였다. 원생동물플랑크톤도 식물플랑크톤과 동일한 방법으로 길이를 측정하였다. 후생동물플랑크톤 가운데 갑각류는 전체부 길이(prosome length)를 크기로 취하여 측정하였으며, 그 밖의 동물플랑크톤은 전체 몸체 길이를 크기로 취하였다. 전체 출현종의 크기분포를 나타낼 때 각 출현종의 평균 크기를 대표값으로 취하여 나타냈다.

3. 결 과

인천항 및 부산항에 입항한 선박들은 뉴질랜드, 대만, 싱가포르, 홍콩, 파키스탄, 일본, 북태평양해역 등에서 밸러스트 수를 취수하였으며(Fig. 2), 각 선박들이 밸러스트 수를 보유한 기간은 2~54일이었다(Table 2). 밸러스트 수의 온도는 인천항 및 부산항 내 주변 해수보다 1.3~4.8°C의 범위로 다소 높은 경향을 보였다. 측정된 밸러스트 수의 염분은 31.8~35.7 ppt의 범위를 보였으며, 밸러스트 수의 염분이 항 내보다 7 ppt 이상 높은 경우도 있었다.

9개의 밸러스트 탱크에서 얻어진 시료에서 부유생물의 전체 분류군 수는 탱크별로 7~53개의 범위를 보였으며, 홍콩에서 취수된 밸러스트 수에서 최대치를, 일본 근해에

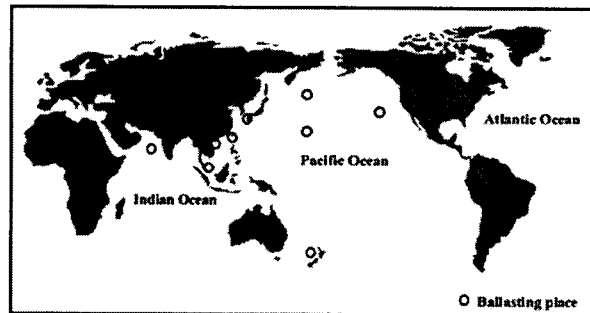


Fig. 2. Map showing the ballasting places.

Table 2. The number of taxa relative to the age of ballast water. Abbreviations in the origin of ballast water are as follows. NZ=Nelson, New Zealand, TW=Taiwan, HK=Hong Kong, Sin=Singapore, PO1=the Pacific Ocean (48°12'08"N, 170°54'06"E), PO2=the Pacific Ocean (24°31.5'N, 173°19.0'E), PO3=the Pacific Ocean near North America, PK=Pakistan, JP=Japan.

Origin of ballast water	NZ	TW	HK	Sin	PO1	PO2	PO3	PK	JP
Age of ballast water(day)	33	2	9	13	49	54	30	25	2
Phytoplankton	8	5	35	36	9	16	2	3	2
Protozooplankton	6	6	11	6	3	8	0	4	0
Metazooplankton	5	6	7	6	20	15	1	9	5
Total number of species	19	17	53	48	32	39	3	16	7

Table 3. Genus list of marine plankton occurred in 9 ballast tanks. Symbol (*) indicates the order of frequency number of species within a genus. The levels of frequency number are as follows; ****(>15), ***(11-15), ** (5-10) and *(<5), but there is no symbol in < 2.

Phytoplankton			Zooplankton		
total 90 taxa			Proto-	total 24 taxa	
Diatoms			Ciliates		
<i>Achnanthes</i>	<i>Actinocyclus</i>	<i>Asteromphalus</i>	<i>Amphorella</i>	<i>Amphorellopsis</i>	<i>Eutintinnus</i>
<i>Bacteriastrum</i>	<i>Cerataulina</i>	<i>Chaetoceros</i> **	<i>Favella</i>	<i>Tintinnopsis</i> ****	<i>Leprotintinnus</i>
<i>Corethron</i>	<i>Coscinodiscus</i> **	<i>Cyclotella</i>	<i>Parafavella</i>		
<i>Cylindrotheca</i>	<i>Delphineis</i>	<i>Diploneis</i>	Others*		
<i>Ditylum</i>	<i>Eucampia</i>	<i>Grammatophora</i>			
<i>Lioloma</i>	<i>Melosira</i>	<i>Navicula</i>	Meta-	total 56 taxa	
<i>Odontella</i> *	<i>Paralia</i>	<i>Pseudo-nitzschia</i>	Copepods		
<i>Pleurosigma</i> *	<i>Podosira</i>	<i>Roperia</i>	<i>Acartia</i> **	<i>Acrocalanus</i>	<i>Candacia</i>
<i>Rhizosolenia</i> *	<i>Skeletonema</i>	<i>Stephanopyxis</i>	<i>Clausocalanus</i>	<i>Euchaeta</i>	<i>Euterpina</i>
<i>Surirella</i>	<i>Thalassionema</i>	<i>Thalassiosira</i>	<i>Mesaiokeras</i>	<i>Paracalanus</i> **	<i>Pseudodiaptomus</i>
<i>Trachyneis</i>	<i>Triblioptychus</i>		<i>Tortanus</i>	<i>Corycaeus</i> *	<i>Oithona</i> **
Dinoflagellates			<i>Oncaea</i> *	<i>Macrosetella</i>	<i>Sapphirina</i>
<i>Ceratium</i>	<i>Corythodinium</i>	<i>Dinophysis</i>	<i>harpacticoid unid.</i>	<i>copepodites</i> *	<i>nauplii</i> *
<i>Gonyaulax</i>	<i>Oxyphysis</i>	<i>Prorocentrum</i>	eggs		
<i>Protoperidinium</i> *	<i>Zygabikodinium</i>		Others		
Others			<i>Oikopleura</i>	<i>Cirripedia nauplii</i> ** <i>Polychaeta larvae</i> *	
<i>Dictyocha</i> *	<i>Octactis</i>	<i>Ebria</i>	<i>Mollusca larvae</i>	<i>Zoëans</i>	

서 취수된 밸러스트 수에서 최소치를 보였다(Table 2). 모든 조사에서 분류된 해양 부유생물의 출현 분류군 수는 종과 상위 분류군을 포함하여 총 170개였다. 식물플랑크톤이 90개로 가장 많았으며, 후생동물플랑크톤이 56개, 그리고 원생동물플랑크톤이 24개였다(Table 3). 식물플랑크톤은 크게 돌말류(diatoms)와 와편모조류(dinoflagellates) 및 기타로 구분되었고, 돌말류가 32속 74종, 와편모조류가 8속 11종, 그 밖에 3속 5종이 출현하였다. 식물플랑크톤은 전 세계적으로 분포하는 종들이 가장 많았으며, 특히 연안 종이 대부분을 차지하였다.

속(genus) 수준에서의 구성을 살펴보면, 돌말류에서 *Chaetoceros*와 *Coscinodiscus*가 가장 다양한 출현 양상을 보였다. 돌말류의 출현종수에서 *Chaetoceros*는 8.1%를, *Coscinodiscus*는 6.8%를 점유하였다. 와편모조류에서는 *Protoperidinium*이 가장 많이 나타났으며, 그 외의 식물플랑크톤에서는 *Dictyocha*가 다수를 차지하였다. 원생동물플랑크톤은 섬모충류(ciliates)가 7속 22종이 출현하여 밸러스트 수 시료에서 대부분을 차지한 우점 분류군이었으며, 빈모류(Oligotrichs) 및 전모류(Holotrichs)가 각각 1종씩 출현하였다. 특히 *Tintinnopsis*는 총 16종으로 구분되어 가장 우점한 속 단위의 분류군이었다. 시료 중에서 국내에 기록되지 않은 종으로 *Tintinnopsis everta*, *T. meunieri*, *T.*

minuta, *T. karajacensis* 등이 동정되었으나, 국내에 서식하는 종인지 좀 더 면밀한 분류학적 검토가 필요하다. 후생동물플랑크톤은 밸러스트 수를 취수한 해역에 따라 다양하게 나타났으나 출현종 수는 다양하지 않았으며, 소수종만 출현하는 경향을 보였다. 후생동물플랑크톤 중 요각류가 가장 다양한 분류군으로 판명되었다. 요각류는 전체 동물플랑크톤의 출현 분류군 수에서 66.1%를 차지하며 총 15속 36종 및 미동정 1개 분류군이 출현하였다. 이 중 갈라노이드류(Calanoids)는 9속 21종이 출현하여 가장 높은 출현종수를 보였다. 요각류를 제외한 다른 동물플랑크톤의 출현은 적었으며, 대부분 저서동물의 부유성 유생 또는 Cirripedia의 유생이었다. 요각류 중 국내 연안에서 출현빈도가 낮거나 보고되지 않은 종은 *Mesaiokeras tantilus*, *Oncaea mediterranea*, *Euterpina acutifrons* 등이었다.

밸러스트 수에서 출현한 부유생물을 크기별로 구분해 보면 식물플랑크톤은 망목 20 μm 인 네트를 사용했기 때문에 대부분 길이와 폭 중 어느 한쪽은 20 μm 이상의 크기를 나타냈으며, *Skeletonema costatum*과 같이 세포의 크기가 작은 돌말류는 군체를 이루고 있었다. 결과 분석을 위해 가장 긴 쪽을 기준으로 크기를 취하였으며, 군체를 이루는 종은 단일 세포의 길이를 기준으로 크기를 취하였다. 식물플랑크톤의 크기는 12~573 μm 의 범위를 보였으

며, 가장 큰 종은 *Thalassionema frauenfeldii*였으며, 가장 작은 종은 *Skeletonema costatum*이었다. 크기 범위가 50~100 μm 와 100~150 μm 사이에 속한 종이 전체 출현종에서 각각 26.6%씩을 점유하여 전체 식물플랑크톤에서 절반 이상을 차지하였다. 원생동물플랑크톤의 크기는 28.4~193.2 μm 의 범위를 보였으며, 전체적으로 50~120 μm 의 범위 안에서 다수의 출현종이 고르게 분포하였다. 가장 큰 종은 *Leprotintinnus simplex*였으며, 가장 작은 종은 *Tintinnopsis* sp.였다. 후생동물플랑크톤은 크기가 대부분 1 mm 미만으로 조사되었다. 크기가 1 mm 미만의 후생동물플랑크톤은 대다수가 요각류였으며 전체 동물플랑크톤의 출현 분류군 수에서 88.4%를 차지하였다. 이 범위에 속하는 동물플랑크톤은 500 μm 을 기준으로 상하로 고르게 분포하는 경향을 보였다. 500 μm 이하의 동물플랑크톤은 전체에서 41.7%를 차지하였으며, 500~1000 μm 범위에 속한 동물플랑크톤은 46.7%를 점유하였다.

4. 토 의

9개의 탱크에 저장된 밸러스트 수에서 조사된 해양 부유생물은 연안종이 대부분을 차지하였고 소수 외양종이 출현하는 경향을 보였다. 각각의 밸러스트 수는 취수한 해역에 따라 연안 및 외양으로 나눌 수 있었으나, 탱크별로 연안종과 외양종이 따로 출현하는 것이 아니라 서로 혼재되어 나타나는 경향을 보였다. 이와 같은 현상은 밸러스트 수의 배출 시 탱크에 존재하는 해수를 완전히 비우는 것이 아니라 일부만 배출하고, 이 후에 다시 일부를 취수할 때 발생하는 해수 혼합으로 생긴 결과로 추측된다(Zhang and Dickman 1999).

Chu *et al.*(1997)와 Williams *et al.*(1988)은 밸러스트 수가 오래될수록 플랑크톤의 종수와 개체수가 감소한다고 하였다. 그러나 본 연구 결과에서는 이와 같은 상관관계를 볼 수 없었다. 이는 밸러스트 수를 취수한 당시 해역의 생물상 차이뿐만 아니라 시료 채집 시 각 밸러스트 탱크에서 취수하는 방법이 동일하지 않았기 때문으로 보인다. 소화전 펌프나 갑판에 위치한 밸러스트 탱크의 맨홀을 개방하여 네트로 채집한 시료는 대량의 해수 여과로 인하여 상대적으로 높은 출현종을 보였다. 반면, 기관실의 작은 관을 통해 밸러스트 수를 얻은 시료에서는 낮은 여과 수량으로 인하여 낮은 출현종수를 보였다. 실제로 대량의 해수 여과로 얻어진 시료 중 홍콩 및 싱가포르 연안에서 취수된 밸러스트 수에서 출현종수가 가장 높았으며, 각각의 밸러스트 수는 9일과 13일 등 비교적 짧은 기간 동안 보관된 것이었다(Table 2). 따라서 밸러스트 수의 저장 기간과 출현종과의 전체적인 비교를 위해서는 채집의 표준화가 필수적일 것으로 보인다. 최근 연구에서 밸러스트 수의

채수 및 시료의 채집 시 광범위한 채집 방법 및 도구들이 이용되고 있다(Sutton *et al.* 1998). 이중에 펌프(Hay *et al.* 1997)와 네트가 주로 이용된다. 펌프는 탱크의 깊이에 따라 채집이 가능하지만 네트는 전체 수심(Wonham *et al.* 2001)과 표층(Ruiz *et al.* 2000) 채집을 위주로 한 방법 등에 이용되어 왔다. Murphy *et al.*(2002)에 의하면 몇몇 갑각류는 수심이 6 m인 곳보다 0.5~2 m 사이에 더 풍부히 존재하며 이러한 수직 분포는 밸러스트 수에 존재하는 플랑크톤 군집 크기의 추정에 영향을 미칠 뿐만 아니라 외래종의 유입 여부를 정량적으로 조사하기 위해 중요하게 고려되어야 할 사항이라고 한다. 밸러스트 탱크는 생물이 존속할 수 있을 만한 큰 크기이며 또한 구조도 선박에 따라 다양하기 때문에 여러 가지 사항을 고려하여 시료 채집 시 반영해야 할 것으로 보인다.

밸러스트 수에서 해양 부유생물의 생존은 크게 몇 가지 요인에 의해 결정된다. 기계적인 충돌, 수온과 같은 물리-화학적 환경 요인의 변화, 빛의 부재 그리고 먹이의 감소(Carlton 1985; Gollasch *et al.* 2000) 등을 들 수 있다. 이들 요인 중 초기에 밸러스트 수의 생물 생존에 가장 큰 영향을 미치는 것은 기계적인 충돌이다. 우선적으로 부유생물은 밸러스트 수를 취수 시 펌프의 날개바퀴 회전과 그에 따른 와류, 그리고 밸러스트 탱크의 내벽과 충돌 등 물리적인 요인에 의해 세포 및 몸체가 파손된다. 따라서 몸체가 연약하거나 크기가 상대적으로 큰 생물은 초기에 종수 및 개체수가 크게 감소한다(Gollasch *et al.* 2000). 다음으로 취수 후 밸러스트 수에 생존한 생물종은 취수한 해역의 수온과 선박 이동 시 통과하는 해역의 수온 차이에 영향을 받는다. Gollasch *et al.*(2000)는 인도양에서 북해까지의 항해에서 수온이 몇몇 해양 생물의 생존에 영향을 미친다고 하였다. 그러나 밸러스트 탱크는 해양 생물이 생존하기에 충분한 공간이 있어 수온과 무생물학적인 요인의 급격한 변화를 완화할 수 있다(Chu *et al.* 1997). 따라서 초기에 살아남은 생물종은 밸러스트 수 내의 무생물학적 환경과 생물학적 관계를 통해 생존이 결정될 것으로 보인다. 빛의 부재는 식물플랑크톤의 성장 및 생산을 제한하여 출현종 및 개체수를 감소시키며, 또한 자가 영양보다 혼합 및 타가 영양을 하는 군집이 우세할 가능성이 높다(Gollasch *et al.* 2000). 빛의 부재로 인한 식물플랑크톤의 감소는 밸러스트 수에서 생존해야 하는 상위 단계의 원생동물 및 동물플랑크톤을 제한하는 요인이 된다(Chu *et al.* 1997). 또한 동물플랑크톤이 식물플랑크톤 및 원생동물 출현종을 제한하는 것은 선택적 또는 다양한 섭이 특성에 따라 나타날 수 있다(Huntley *et al.* 1983; Turner and Graneli 1992; Wiadnyana and Rassoulzadegan 1989). 동·식물플랑크톤의 상호작용에 의한 서식 제한 외에 식물플랑크톤 및 동물플랑크톤의 소멸과 대조적으로 증가하는

박테리아(Drake *et al.* 2002) 같은 생물을 먹이원으로 하는 생물종은 시간이 경과함에 따라 우점할 수 있는 조건이 형성될 수 있다. 빛의 부재에 의한 식물플랑크톤의 성장 제한으로 칼라노이드와 싸이클로프스 요각류(Calanoids and Cyclopoids)는 시간이 지남에 따라 먹이 감소로 인하여 출현종 및 밀도가 감소하는 반면에 하팍티쿠스류(Harpacticoids)는 밸러스트 탱크에서 지속적으로 유지되는 박테리아 생산을 주먹이원으로 오랜 기간 생존할 수 있다(Hardy 1978; Chu *et al.* 1997). 또한 Gollasch *et al.*(2000)은 다른 요각류는 시간이 지남에 따라 급격히 감소하는데 반해 하팍티쿠스류인 *Trisbe graciloides*는 항해의 마지막 시기에서 단시간에 개체수가 100배 이상 증가하는 현상을 보여 밸러스트 탱크가 내부의 환경에 적응된 종에게는 일종의 배양장 역할을 하는 것으로 보고하였다. 그러나 본 조사 결과에서는 요각류 중 칼라노이드류와 싸이클로프스류의 출현종수가 하팍티쿠스류보다 상대적으로 매우 높아 위의 결과와 대조적이었다. 정량적인 조사가 이루어지지 않았으나 조사 선박의 대부분에서 속 단위로 *Acartia*, *Paracalanus*, *Corycaeus*, *Oithona*가 상대적으로 다수를 차지하는 경향을 보였다. 대부분 1 mm 이하의 동물플랑크톤으로 큰 포식자가 없는 환경에서 존속과 번식이 유리하고 다른 동물플랑크톤이 섭식하지 않는 작은 크기의 먹이원을 이용하는데 있어 다른 생물종보다 유리한 위치를 점할 수 있다. 작은 크기의 동물플랑크톤은 일반적으로 현존량뿐만 아니라 식물플랑크톤의 포식압에 있어서도 우세하다는 많은 증거들이 있다(Dam *et al.* 1993; Franz and Gonzalez 1997).

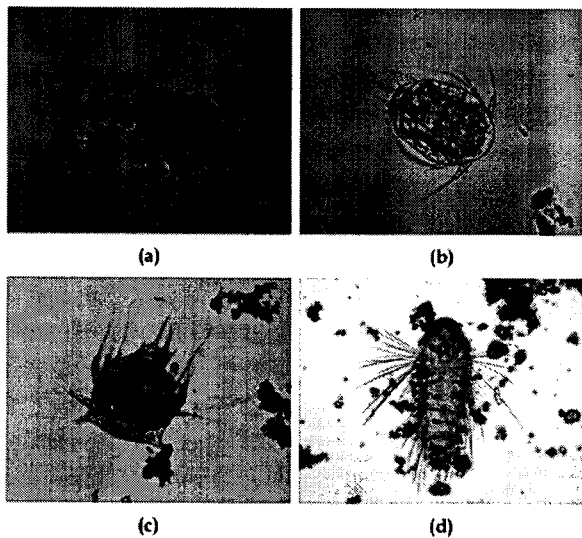


Fig. 3. Larval planktons collected in ballast water. (a) Copepod egg, (b) Copepod nauplius, (c) Cirripedia nauplius, and (d) Polychaete larva.

위에서 살펴본 바와 같이 밸러스트 탱크 내에서 해양 부유생물의 생존은 무생물학적인 요인과 생물학적인 요인에 의해 조절되며 각자의 생존을 위한 전략을 유지할 것으로 보인다. 따라서 이에 적응한 소수종이 존속되는 경향을 보일 가능성이 높다. 또한, 본 조사에서 보여진 플랑크톤의 생존 및 유지뿐만 아니라 요각류 알(Fig. 3a)과 유생(Fig. 3b)의 출현을 통해 밸러스트 수 내에서 번식을 통한 생물의 생활사 일부가 존재한다는 것이 확인되었고, 더불어 저서생물 유생(Fig. 3c, Fig. 3d)의 출현은 표영 생태계뿐만 아니라 밸러스트 수 조사 시 저서 생태계에 관한 연구도 필연적으로 수반되어야 함을 보여준다.

타국 해역에서 취수된 밸러스트 수의 자국 연안 내 배출 규제 목적은 외래종의 유입에 의한 기존 생태계 구조 변화와 이로 인해 발생하는 문제점으로부터 자국의 수산자원을 보호하기 위함이다. 해양 생물, 특히 저서생물은 낮은 이동능력, 단순한 형태, 복잡한 생활사 등으로 인하여 다양한 환경적응능력을 보이며, 육상생물에 비해 짧은 생활사와 높은 번식을 보여 급격한 환경 변화에서 소수의 개체가 생존할 수 있는 가능성이 매우 높은 것으로 보고되고 있다(Cohen and Carlton 1995). 따라서 저서생물과 같은 해양생물은 다른 환경을 지닌 해역으로 이동하더라도 적응력이 높아 외래종의 유입은 기존 연안의 생태계 균형을 파괴할 수 있으며, 또한 유해성일 경우 자국의 수산산업 및 인간에게까지 큰 영향을 미칠 수 있다(Rigby *et al.* 1995). 그러므로 밸러스트 수에 존재하는 생물종에 대한 연구와 그에 따른 규제는 매우 중요하다고 할 수 있

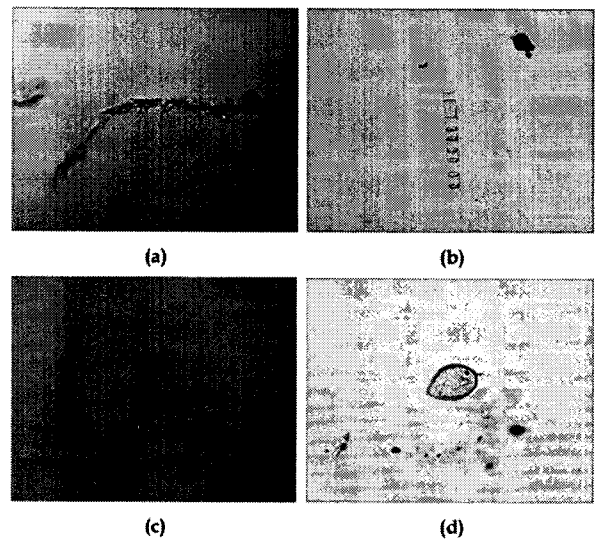


Fig. 4. Harmful algae and redtide species observed in ballast tank. (a) *Pseudo-nitzschia* sp., (b) *Skeletonema costatum*, (c) *Chaetoceros* cf. *peruvianus*, (d) *Proocentrum micans*.

다. 본 연구에서 식물플랑크톤의 출현종을 살펴보면, 유해성 종으로 알려져 있거나 유해성으로 의심되는 소수종이 관찰되었다. 뉴질랜드 부근 해역의 밸러스트 수에서 조사된 식물플랑크톤 중 *Pseudo-nitzschia*(Fig. 4a)는 독성물질인 ASP(amnesic shellfish poisoning)을 생산해내는 것으로 알려져 있으며(Hasle 1994), Garrison *et al.*(1992)와 Villac *et al.*(1993)에 의하면 *Pseudo-nitzschia multiseriata* Hasle과 *P. pseudodelicatissima* Hasle가 ASP 독성을 갖고 있는 것으로 보고하였다. 전 세계 해양에서 보편적으로 출현하는 돌말류인 *Skeletonema costatum*(Fig. 4b)은 홍콩 및 싱가포르 연안에서 취수된 밸러스트 수에서 출현하였으며, 이 종은 영양염이 풍부한 연안에서 대증식을 일으켜 용존산소를 감소시키는 것으로 알려져 있고(ICES 1992), 대서양 연어를 양식하는 곳에서 아가미를 손상시켜 사망하게 하는 것으로 보고되고 있다(Kent *et al.* 1995). 가장 다양한 종수를 보인 *Chaetoceros*는 긴 가시(setae)를 가지고 있어 어류 및 무척추 생물의 아가미에 물리적인 손상을 입히는 것으로 알려져 있다(Bell 1961). Rensel(1993)은 같은 속 중 *C. concavicornis*의 대증식에 따른 점액질 성분이 경제적으로 가치가 높은 대서양 연어의 아가미를 막아 높은 사망률을 유도한다고 하였다. 일본 근해 해역에서 취수된 밸러스트 수에서 출현한 *Chaetoceros cf. peruvianus*(Fig. 4c)는 긴 가시를 가지고 있어 대증식 시 어패류 같은 수산자원에 경제적인 손실을 미칠 가능성이 있다. 따라서 이들의 대증식은 수산자원에 경제적 위협이 될 소지가 크다(Shumway 1992). 와편모조류 중에서 *Prorocentrum micans*(Fig. 4d)는 국내를 비롯한 일본 등지에서 적조생물(Horiguchi 1990)로 널리 알려져 있으며, Paez-Osuna *et al.*(1998)에 의하면 같은 속에 있는 *Prorocentrum dentatum*과 *P. minimum*은 연안에 인접한 도시 오폐수의 유입과 높은 상관관계가 있다고 보고하였다. 또한 *P. minimum*은 독성물질을 만들 수 있으며(Marshall 1997; Shimizu 1987), 그러한 독성물질은 어류의 폐사와 관련이 있다(Steidinger 1993). 동물플랑크톤은 유해성 여부를 알 수 없었으나 국내 출현이 미약하거나 해외에서 출현한다고 보고된 종이 확인되었다. 북태평양에서 취수된 밸러스트 수에서 출현한 *Candacia bradyi*는 국내에 보고(강 1992; 유 1995)된 종으로 출현 빈도가 낮으며, 인도양에서도 출현한다(Lawson 1977). 북태평양에서 취수된 밸러스트 수에서 출현한 *Euchaeta concinna*는 인도양(Tanaka 1973)과 태평양(Yamagii, 1984)에 분포하며 국내의 경우 남해에 주로 출현하며(Kim 1985) 대마난류수괴의 지표종으로 보고되었다(강 1992). 또한 국내의 출현 보고가 없는 *Mesaiokeras tantulus*는 다른 요각류에 비해 작은 크기(200~300 μm)였으며, 외양성 종으로 남동대서양 해역에서 출현한다는 보고(Boltovskoy 1999)가 있

다. 태평양 아열대해역(24°31.5'N, 173°19.0'E)에서 취수된 밸러스트 수에서 출현한 *Euterpina acutifrons*는 국내에 보고되지 않았으며, 이 종은 연안성종으로 대서양, 인도양, 태평양의 열대 및 아열대 해역에서 출현한다고 한다(Boltovskoy 1999). 또한 같은 밸러스트에서 출현한 *Oncaea mediterranea*도 전세계 3대 해양의 열대 및 아열대 해역에서 출현하는 종이다(Boltovskoy 1999). 조사된 밸러스트 수에서 국내에 서식하지 않는 종들이 출현한다는 것이 확인되었으며, 또한 일부종은 유해성 종으로 구분되기도 한다. 따라서 발견된 외래종 및 유해성 종의 국내 서식에 관한 보고를 면밀히 검토해 볼 필요가 있으며, 이들의 생리-생태적인 특성을 파악하여 국내 해양에서의 서식 가능성에 대한 검토가 필요할 것으로 본다.

현재 국제 해사 기구(IMO)는 밸러스트 수를 규제하기 위한 기본적인 조치로 대부분의 선박은 외해에서 재밸러스팅하는 Open Ocean Exchange(OOE)를 권고하고 있다. 본 조사에서도 많은 선박이 OOE를 따르고 있는 것으로 보이나, 실제 밸러스트 수의 식물플랑크톤 종이 대부분 연안성인 것으로 미루어 볼 때 재밸러스팅 과정에서 외해수와 연안수의 교환 시 효율이 떨어지는 것으로 사료된다. Dickman and Zhang(1999)에 의하면 재밸러스팅 과정에서 밸러스트 탱크의 구조적인 문제로 교환 효율이 낮은 것으로 나타났으며, 특히 오래된 선박일수록 그 효율은 낮다고 보고하였다. 따라서, 향후 조사에서는 가급적 선박의 밸러스트 탱크 구조를 고려한 조사가 필요하며, 이와 더불어 조사의 어려움이 있으나 장기간 탱크 저층에 퇴적된 식물플랑크톤의 휴면포자, 저서성 규조류 그리고 저서 생물에 관한 조사도 수행되어야 할 것이다. 2009년 이후에 건조되는 선박의 경우 해양 생물 및 미생물을 없애거나 처리할 수 있는 설비를 통해 밸러스트 수를 관리해야 운항이 가능하기 때문에 이 전의 조사에서 생물의 크기를 고려한 해양 생물의 군집 구조도 병행하여 조사해야 할 것으로 본다. 본 연구 결과에서 50 μm 이하의 식물플랑크톤은 전체 출현종 수의 21.9%, 원생동물은 28.6%를 점유하였으므로 생물여과장치 설비 시 작은 생물종의 크기를 고려한 설계가 있어야 할 것으로 보인다. 이와 더불어 항구 주변 수역의 해양 생태 모니터링은 지속적으로 수행되어야 하며, 국제 협약에 준하여 밸러스트 수를 공해 상에서 배출하게 하는 규제를 위한 신속한 법제정 및 검토가 요구된다.

사 사

시료의 채집 시 현장에서 선박의 섭외 및 협조를 구해 주신 인천, 부산지방 항만청과 해양경찰청 직원분들께도 진심으로 감사드립니다. 또한 논문을 세세하게 심사해주

신 두 분의 심사위원님과 조언을 해주신 박자양 박사님께 심심한 감사의 말을 전합니다. 본 연구는 해양수산부의 선박 밸러스트수 배출규제 대응기술 개발 연구의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 강영실. 1992. 한국 근해 난류 외양성 Calanoid Copepods의 분류 및 분포. 이학박사 학위 논문, 부산수산대학교, p. 89-90.
- 유광일. 1995. 한국 동식물도감 제35권 동물편 (해양동물플랑크톤). 국정교과서 주식회사, 교육부, 194 p.
- Bell, G.R. 1961. Penetration of spines from a marine diatom into the gill tissue of lingcod (*Ophiodon elongatus*). *Nature*, 192, 279-280.
- Boltovskoy, D. 1999. South Atlantic Zooplankton, Vol. 2. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands. p. 877-888.
- Calton, J.T. 1985. Transoceanic and interoceanic dispersal of coastal marine organism: The biology of ballast water. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 23, 313-371.
- Calton, J.T. and B. Geller. 1993. Ecological roulette: The global transport of non-indigenous marine organism. *Science*, 261, 78-82.
- Cohen, A.N. and J.T. Carlton. 1995. Biological Study. Nonindigenous aquatic species in a United States estuary: A case study of the biological invasions of the San Francisco Bay and Delta. A report for the United States Fish and Wildlife Services, Washington, D.C., and the National Sea Grant College Program, Connecticut Sea Grant, NTIS Report Number PB96, p. 166-525.
- Chu, K.H., P.F. Tam, C.H. Fung, and Q.C. Chen. 1997. A biological survey of ballast water in container ships entering Hong Kong. *Hydrobiologia*, 352, 201-206.
- Dam, H.G., C.A. Miller, and S.H. Jonasdottir. 1993. The trophic role of mesozooplankton at 47°N, 20°W during the North Atlantic Bloom Experiment. *Deep-Sea Res. II*, 40, 197-212.
- Dickman, M. and F. Zhang. 1999. Mid-ocean exchange of container vessel ballast water. 2: Effects of vessel type in the transport of diatoms and dinoflagellates from Manzanillo, Mexico, to Hong Kong, China. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 176, 253-262.
- Drake, L.A., G.M. Ruiz, B.S. Galil, T.L. Mullady, D.O. Friedmann, and F.C. Dobbs. 2002. Microbial ecology of ballast water during a transoceanic voyage and the effects of opean-ocean exchange. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 233, 13-20.
- Elton, C.S. 1958. The Ecology of Invasions by Plants and Animals. Chapman & Hall, London. 181 p.
- Fransz, H.G. and S.R. Gonzalez. 1997. Latitudinal metazoan plankton zones in the Antarctic Circumpolar Current along 6°W during austral spring 1992. *Deep-Sea Res. II*, 44, 395-414.
- Garrison, D.L., S.M. Conrad, P.P. Ellers, and M. Waldron. 1992. Confirmation of domoic acid production by *Pseudo-nitzschia australis* (Bacillariophyceae) cultures. *J. Phycol.*, 28, 604-607.
- Gollasch, S., J. Lenz, M. Dammer, and H-G. Andres. 2000. Survival of tropical ballast water organism during a cruise from the Indian Ocean to the North Sea. *J. Plankton Res.*, 22, 923-937.
- Gosselin, S., M. Levasseur, and D. Gauthier. 1995. Transport and deballasting of toxic dinoflagellates via ships in the Grande Entee Lagoon of the Pies-de-la-Madeleine (Gulf of St. Lawrence, Canada). p. 591-596. In: *Harmful Marine Algal Blooms*. ed. by P. Arzul, G. Erad, E. Gentien, P. Marcaillou, and C. Lassus. Lavoisier/Intercept, Paris.
- Hardy, B.L.S. 1978. A method for rearing sand-swelling harpacticoid copepods in experimental conditions. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 34, 143-149.
- Hasle, G.R. 1994. *Pseudo-nitzschia* as a genus distinct from *Nitzschia* (Bacillariophyceae). *J. Phycol.*, 30, 1036-1039.
- Hay, C., S. Handley, T. Dodgshun, M. Taylor, and W. Gibbs. 1997. Cauthron's ballast water research programme final report 1996-97, Cauthron Report 417. Cauthron Institute, Nelson.
- Hebert, P.D., N.B.W. Muncaster, and G.L. Mackie. 1989. Ecological and genetic studies on *Dreissena polymorpha* (Pallas): A new mollusc in the Great Lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46, 1587-1591.
- Huntley, M.E., K.G. Barthel, and J.L. Star. 1983. Particle rejection by *Calanus pacificus*: Discrimination between similarity sized particles. *Mar. Biol.*, 74, 151-160.
- Horiguchi, T. 1990. Diophyceae *Prorocentrum micans* Ehrenberg. p. 28-29. In: *Red Tide Organisms in Japan-An Illustrated Taxonomic Guide III*. ed. by Y. Fukuyo, H. Takano, M. Chihara, and K. Matsouka. Uchida Rokakuho, Tokyo.
- ICES. 1992. Effects of harmful algal blooms on mariculture and marine fisheries. International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen, Denmark. Cooperative Research Report 181. 38 p.
- Jones, M.M. 1991. Marine organism transported in ballast water. A review of the Australian scientific position. Bureau of Rural Resources Bulletin, 11. Australian Government Printing Service, Canberra.

- Kent, M.L., J.N.C. Whyte, and C. La Trace. 1995. Gill lesions and mortality in seawater pen-reared Atlantic salmon *Salmo salar* associated with a dense bloom of *Skeletonema costatum* and *Thalassiosira* species. *Dis. Aquat. Org.*, 22, 77-81.
- Kim, D.Y. 1985. Taxonomical study in calanoid copepod (Crustacea:Copepoda) in Korean waters. Ph.D. Thesis. *Hanyang Univ.*, p. 66-67.
- Lawson, T.J. 1977. Community interactions and zoogeography of the Indian Ocean Candaciidae (Copepoda:Calanoida). *Mar. Biol.*, 43, 71-92.
- Marshall, H.G. 1997. Toxic phytoplankton blooms: How common are species that may produce toxic blooms in Chesapeake Bay?. *Idee Ekologiczne, Ser, Szkice, Poznan*, 10(6), 141-149.
- McCarthy, S. and F.M. Khambaty. 1994. International dissemination of epidemic *Vibrio cholerae* by cargo ship ballast and other nonpotable water. *Appl. Environ. Microbiol.*, 60, 2597-2601.
- Mills, E.L., J.H. Leach, J.T. Carlton, and C.L. Sector. 1993. Exotic species in the Great Lakes: A history of biotic crises and anthropogenic introductions. *Great Lakes Res.*, 19, 1-54.
- Murphy, K.R., D. Ritz, and C.L. Hewitt. 2002. Heterogeneous zooplankton distribution in a ship's ballast tanks. *J. Plankton Res.*, 24, 729-734.
- Paez-Osuna, F., S.R. Guerrero-Galvan, and A.C. Ruiz-Fernandez. 1998. The environmental impact of shrimp aquaculture and the coastal pollution in Mexico. *Mar. Pollut. Bull.*, 36, 65-75.
- Rensel, J.E. 1993. Severe bloom hypoxia of Atlantic salmon (*Salmo salar*) exposed to the marine diatom *Chaetoceros concavicornis*. p. 625-630. In: *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*. ed. by T.J. Smayda and Y. Shimizu. Elsevier, Amsterdam.
- Rigby, G.R., A.H. Taylor, G.M. Hallegraeff, and P. Mills. 1995. Progress in research and management of ships' ballast water to minimize the transfer of toxic dinoflagellates. p. 821-824. In: *Harmful Marine Algal Blooms: Proceedings of the Sixth International Conference on Toxic Marine Phytoplankton, Nante, France*. ed. by P. Lassus, et al.
- Ruiz, G.M., R.W. Fofonoff, J.T. Carlton, M.J. Wonham, and A.H. Hines. 2000. Invasion of coastal marine communities in North America: Apparent patterns, processes, and biases. *Annu Rev. Ecol. Syst.*, 31, 481-531.
- Shimizu, Y. 1987. Dinoflagellates toxins. p. 282-315. In: *The Biology of Dinoflagellates*. ed. by F.J.R. Taylor. Botanical Monographs, 21. Blackwell, Oxford.
- Shumway, S.E. 1992. A review of the effects of algal blooms on shellfish and aquaculture. *J. Shellfish Res.*, 11, 556.
- Steidinger, K.A. 1993. Some taxonomic and biological aspects of toxic dinoflagellates. p. 1-28. In: *Algal Toxins Seafood and Drinking Water*. ed. by I. Falconer. Academic Press, London.
- Sutton, C.A., K.R. Murphy, R.B. Martin, and C.L. Hewitt. 1998. A review and evaluation of ballast water sampling activities and methodologies. CRIMP Technical Report #15. CRISO Division of Marine Research, Hobart.
- Tanaka, O. 1973. On *Euchaeta* (Copepoda, Calanoida) of the Indian Ocean. p. 126-149. In: *Handbook to the International Zooplankton Collections, Indian Ocean Biological Centre 4*.
- Turner, J.T. and E. Graneli. 1992. Zooplankton feeding ecology: grazing during enclosure studies of phytoplankton blooms from the west coast of Sweden. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 157, 19-31.
- Villac, M.C., D.L. Roelke, T.A. Villareal, and G.A. Fryxell. 1993. Comparison of two domoic acid-producing diatoms: a review. *Hydrobiologia*, 269/270, 213-224.
- Wiadnyana, N.N. and F. Rassoulzadegan. 1989. Selective feeding of *Acartia clausi* and *Centropages typicus* on microzooplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 53, 37-45.
- Williams, R.J., F.B. Griffiths, E.J. Van der Wal, and J. Kelly. 1988. Cargo ship ballast water as a vector for the transport of nonindigenous marine species. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 26, 409-420.
- Wonham, M.J., W.C. Walton, A.M. Frese, G.M. Ruiz, and B.S. Galil. 2001. Going to the source: Role of the invasion pathway in determining potential invaders. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 215, 1-12.
- Yamaji, I. 1984. Illustrations of the Marine Plankton of Japan. Hoikusha, Osaka. 315 p.
- Zhang, F. and M. Dickman. 1999. Mid-ocean exchange of container vessel ballast water. 1: Seasonal factors affecting the transport of harmful diatoms and dinoflagellates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 176, 243-251.

Received Nov. 28, 2005

Accepted Feb. 2, 2006