반폐쇄적인 천수만 해역의 플랑크톤 군집 변화

이재광¹ · 박 철^{1,*} · 이두별² · 이상우¹

¹충남대학교 해양환경과학과

²한국해양연구원 부설 극지연구소 기후연구부

Variations in Plankton Assemblage in a Semi-Closed Chunsu Bay, Korea

JAEKWANG LEE¹, CHUL PARK^{1,*}, DOOBYOUL LEE² AND SANGWOO LEE¹

¹Department of Oceanography and Ocean Environmental Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Division of Polar Climate Research, Korea Polar Research Institute, Incheon 406-840, Korea

반폐쇄적인 구조의 천수만에서 환경요인과 동·식물플랑크톤 군집과의 관계를 파악해 보았다. 식물플랑크톤 군집은 계절에 따라 변하는 일사량과 수온 그리고 담수 유입에 따른 영양염 공급에 의해 조성변화가 일어났으며, 한 달 이내의 짧은 기간에 서해 연안의 다른 해역에서보다 큰 폭으로 변화하였다. 담수 방류가 겨울철(2월)에는 규조류의 증식에, 여름철(7~8월)에는 표층에 한해서 외편모류의 증식에 많은 영향을 미치고 있었으며, 식물플랑크톤 중 규조류 군집은 크기별 천이현상이 관측되었다. 동물플랑크톤은 먹이농도와 수온, 염분에 의해 군집의 구조가 변하고 있었으며, 주성분 분석 결과 계절변화와 그에 따른 식물플랑크톤 현존량 변동에 약 32%, 담수방류에 의해 약 17% 정도의 영향을 받고 있는 것으로 추측되었다. 과거 1985-1986년, 1991-1992년과의 비교에서 주요 우점종인 *Acartia hongii*, *Paracalanus parvus* sensu lato, *Centropages abdominalis*는 비슷한 계절별 변동과 조성률을 보였으나 출현량은 과거보다 약 3배 이상 증가하였고, 요각류 이외의 다른 분류군에서는 조성의 변화가 관측되었다.

Relationship between plankton assemblage and environmental factors in a semi-closed Chunsu Bay was examined. Temporal changes in phytoplankton assemblage was rather drastic than those found in most Korean coastal area in the Yellow Sea primarily due to the seawater temperature (T) and nutrient input from the dikes nearby. Freshwater discharge seemed to cause winter time increase of Diatoms (February) and summer time increase of Dinoflagellates at surface (July to August). Structural change in cell size with time was also found in Diatom. Zooplankton community structure was also changed with season probably due to the food concentration, seawater temperature and salinity (S). From principal component analysis (PCA) of zooplankton distribution, it was postulated that seasonal environmental changes such as T and S could explain about 32% of variability in zooplankton distribution along with phytoplankton cell numbers, while freshwater discharge could explain about 17%. Comparing with past data of 1985-1986, 1991-1992, the distributional patterns and percent composition of major species, *Acartia hongii*, *Paracalanus parvus* sensu lato and *Centropages abdominalis*, were similar. However, the abundances have been increased more than three times. The composition of other taxa than copepods showed significant changes.

Key words: Phytoplankton, Zooplankton, Community, Chunsu Bay

서 론

해양생태계의 기초가 되는 식물플랑크톤과 동물플랑크톤 군집은 여러 환경요인들에 의해 시공간적으로 변한다. 해양생태계 내에서 일차 생산을 담당하는 식물플랑크톤은 빛, 영양염, 수온 등과 같은 환경 요인에 의해 군집의 구조가 변하며(Reynolds *et al.*, 1983), 염분 변화가 심한 하구역에서는 염분과 계절에 따라 종 조성이 변한다(심 등, 1991; Marshall and Raymond, 1990). 동물플랑크톤은 서식지의 환경, 수온, 염분, 먹이조건 그리고 상위 포식

자의 섭식활동 등에 의해 그 군집구조가 변하며, 일차 소비자로서 이들의 섭식(feeding)활동은 식물플랑크톤의 양적 변동과 종 조성에 영향을 주기도 한다(Bautista and Harris, 1992; Lee *et al.*, 2012a). 그러므로 어떤 해역의 에너지 흐름을 파악하고 생태계 구조를 이해하기 위해서는 동·식물플랑크톤 군집 변동을 이해해야 한다.

서해 중부에 위치한 천수만은 남북 방향 길이 약 35 km, 동서 방향 폭 약 10 km, 평균 수심 약 20 m 내외의 천해성 내만으로(국립지리원, 1977), 연중 높은 탁도를 유지하고 있는 것이 특징이다. 만의 서쪽에는 안면도가 위치해 있으며, 북쪽에는 태안군과 서산시, 동쪽에는 홍성군과 보령시로 둘러싸여 있어 남쪽의 좁은 입구로만 해수의 유통이 이루어지는 반 폐쇄적인 구조를 지니고 있

*Corresponding author: chulpark@cnu.ac.kr

다. 천수만은 외해와 지리적으로 격리되어 있기 때문에 많은 해양 생물의 산란 및 보육장으로서 높은 생물생산성을 보이고 있으며, 방조제로부터 유입되는 담수와 남쪽의 좁은 수로를 통해서 이루어지는 제한된 해수 교환은 이 해역에 서식하는 생물들에게 많은 영향을 주고 있다. 인근지역에는 많은 방조제가 건설되었는데, 1983년에 건설된 서산 A지구 방조제(간월호), 1985년에 건설된 서산 B지구 방조제(부남호)가 대표적이며 그 외에도 1999년과 2000년에는 각각 홍성 방조제(모산만)와 보령 방조제(오천만)가 추가로 건설되었다. 이러한 방조제의 건설로 천수만의 면적은 380 km²에서 180 km²로 크게 감소하였으며(박, 1976; 이 등, 2011), 만내로 유입되는 외해수 유속과 통수량이 크게 감소하는 결과를 가져왔다(김, 1996). 특히 천수만 북쪽에 위치한 간월호와 부남호에서는 여름철 간헐적으로 대량의 담수를 배출하는데, 이로 인하여 급격한 염분과 영양염의 변화가 일어나고 있으며, 이와 더불어 인근 지역에서 배출하는 생활폐수, 농경단지에서 사용된 화학비료의 증가 등은 이 해역에 부영양화를 촉진하여 적조 발생에 매우 취약하게 만들었다(김 등, 2005; 박 등, 2006a). 최근에는 여름철 성층화로 인해 저층에 무산소 혹은 빈산소층이 빈번히 발생되고 있어 생태계에 큰 위협이 되고 있다(Lee *et al.*, 2012b).

과거 천수만에서 이루어진 해양생태계의 연구로는 방조제 건설 이전에 이루어진 유(1962)와 심과 이(1979)에 의한 식물플랑크톤 종 구성과 양에 관한 연구가 있으며, 방조제 건설 중에도 심 등(1988)에 의한 생태계 분석 보고서를 시작으로 식물플랑크톤과 일차생산력, 어류 그리고 저서동물 등의 생태에 관한 연구가 이루어졌다(심과 여, 1988; 심과 신, 1989; 신 등, 1990; 이, 1996; 박 등, 2006b). 그러나 이 해역에서 동물플랑크톤에 대한 연구는 상대적으로 적은 실정이며, 심과 윤(1990)의 계절변화와 생산량에 대한 연구, 심 등(1988)과 이 등(1992)의 보고서 외에는 동물플랑크톤의 생태에 대한 연구는 거의 없다. 특히 천수만의 환경변화에 큰 영향을 미칠 것으로 추정되는 방조제에서 유출되는 담수의 영향에 대한 연구는 전혀 없었다.

본 연구에서는 이러한 특성을 보이는 천수만 해역에서 여러 환경요인과 동·식물플랑크톤 군집과의 관계를 파악하고자 하였으며, 특히 여름철 대량으로 유입되는 담수가 동·식물플랑크톤 군집 변동에 어떤 영향을 미치는지 알아보하고자 하였다.

재료 및 방법

천수만의 해수 이동 규모, 담수 유입의 영향, 수심, 등을 고려하여 총 3개의 정점을 선정하였으며(Fig. 1), 2009년 11월부터 2011년 8월까지 2년간 계절별로(2, 5, 8, 11월) 현장 채집과 관측을 실시하였다. 담수 유입량이 증가하는 여름철에는(6~8월)에는 추가로 현장 채집을 하였는데, 2010년에는 6월 24일과, 7월 13일에, 2011년에는 6월 2일, 7월 5일, 8월 3일에 이루어졌다. 월별 강수량은 기상청 자료를 이용하였으며, 방조제 방류량은 한국농어촌공사(간월호, 홍성호, 보령호)와 현대건설 방조제관리팀(부남호)의 방류 자료를 이용하였다.

환경요인 측정

각 정점의 수온, 염분은 YSI-6600 conductimeter를 이용하여 측

Fig. 1. Map of the sampling sites in Chunsu Bay.

정하였다. 상대적으로 수층 간 차이가 클 것으로 예상되는 여름철(6~8월)에는 표층과 저층을 나누어 측정하였고 그 밖의 시기에는 표층과 저층의 차이가 미미하여 표층 값으로 대변하였다.

부유물질량(suspended particulate matter, SPM) 측정을 위한 해수는 각 정점에서 van Dorn 채수기를 이용하여 표층과 저층에서 채수하였다. 표층 해수는 수심 약 1~2 m에서, 저층 해수는 해저면의 약 1~2 m 위에서 채수하였으며, 채수된 해수는 실험실에서 사전에 건조시켜(60 °C, 24h) 무게를 측정할 여과지(직경 45 mm GF/F filter)에 각각 500 ml를 여과하여 건조한 후 다시 무게를 측정하여 그 차이를 계산하였다.

Chlorophyll *a* 농도 측정을 위한 해수 채수는 부유물질량 측정 시료와 동일한 수심에서 이루어졌다. 채수된 해수 두개는 선상에서 각각 직경 47 mm GF/F 여과지로 250 ml를 여과하였으며, 크기별로 chlorophyll *a* 농도를 파악하기 위해 20 µm체(sieve)를 이용하여 micro size와 nano size로 나누어 각각 여과하였다. 여과지는 액체질소에 냉동 보관하여 실험실로 운반하였으며 실험실로 운반된 여과지는 90% 아세톤 8 ml 첨가하여 냉암소에서 24시간 동안 chlorophyll *a*를 추출하였다. 추출된 여액을 원심분리기를 이용하여 3500 rpm으로 5분간 원심 분리하여 Turner Designs trilogy Fluorometer를 이용하여 형광 측정방법으로 chlorophyll *a* 농도를 구하였으며, 반복 채수로 얻어진 두 자료의 평균을 이용하였다.

식물플랑크톤 채집

식물플랑크톤은 채수를 통해 채집하였는데, 표층 해수시료 900 ml에 Lugol's solution 5 ml를 넣어 고정한 후 실험실의 암실에서 자연 침전 시켰다. 순환 펌프를 이용하여 침전시킨 시료의 상등액을

제거하고 남은 여액 200 ml를 잘 혼합한 후, 50 ml 시험관에 넣고 3,500 rpm으로 5분간 원심분리 하였다. 다시 상등액 45 ml를 제거하고 남은 5 ml를 1 ml 씩 Sedgewick-Rafter chamber에 넣고 광학현미경으로 속(genus) 준위까지 검정·계수하였다.

중형동물플랑크톤 채집

중형동물플랑크톤은 원추형 네트(입구직경 52 cm, 망목크기 200 μ m)를 사용하여, 전 수층을 대상으로 수직 인양하여 채집하였다. 모든 채집은 각 정점에서 3회 반복하여 실시하였다. 채집된 시료는 중성 포르말린으로 고정하였으며, 최종 농도가 5~8%가 되도록 하였다. 채집된 시료는 실험실에서 Folsom 분할기를 이용하여 부차 시료를 취하여 Bogorov 계수관에 넣고 해부현미경과 광학현미경을 사용하여 가능한 낮은 분류계급까지 동정한 후 계수하였다. 개체수는 네트 입구에 부착된 유량계(G. O. 1295 flowmeter)로 여과된 해수량을 계산하여 단위 체적당 개체수(indiv./m³)로 환산하였으며, 세 시료에서 얻어진 값들의 평균을 이용하였다.

통계 분석

환경요인과 동·식물플랑크톤 간의 관계는 상관분석(correlation analysis), 주성분 분석(principal component analysis, PCA)을 통

해 알아보았고, 집괴분석(cluster analysis)으로 중간 유연관계를 파악해 보았다. 모든 통계분석은 SAS 9.2를 이용하였다.

결 과

환경요인

수온은 2.4~28.5 °C의 범위로 월 평균 수온은 2월에 가장 낮았고 8월에 가장 높은 온대해역의 전형적인 특징을 보였다(Fig. 2). 만내에서 정점별 차이는 비교적 작았다(1 °C 미만). 그러나 여름철인 6~7월에는 3~5 °C 정도의 차이를 보였는데 담수의 영향을 직접적으로 받는 만의 안쪽 정점(CS1)에서 높았고, 만의 입구 정점(CS3)에서 낮았다. 표·저층간의 차이는 거의 없었으며 여름철에만 만의 안쪽에서만 2~3 °C 정도로 비교적 크게 나타났다.

천수만 내로 방류되는 담수의 양은 여름철 집중 호우기인 7~8월에 집중되었는데, 2010년에는 연간 방류량의 76%가 7~9월에 방류되었으며, 2011년에는 연간 방류량의 83%가 6~8월에 집중되었다(Fig. 3).

염분은 여름철을 제외하면 큰 차이를 보이지 않았다(30~32 psu 범위). 여름철의 경우 집중 호우의 영향으로 7~8월에는 만의 안과 밖의 차이가 크게 나타났으며, 만의 안쪽을 중심으로 낮은 염분층

Fig. 2. Surface seawater temperatures (°C) in Chunsu Bay from November 2009 to August 2011.

Fig. 3. Fresh water discharge (10⁶ tons, bars) and precipitation (mm, line) in Chunsu Bay from November 2009 to August 2011.

Fig. 4. Surface salinities (psu) in Chunsu Bay from November 2009 to August 2011.

Fig. 5. Suspended particulate matter (SPM, mg/l) in Chunsu Bay from November 2009 to August 2011 (A: surface layer, B: bottom layer).

이 형성되었다(Fig. 4). 특히 2011년 7~8월에는 만의 안쪽에서 25 psu 이하의 낮은 염분층이 관측되었다.

부유물질량은 19.9~127.5 mg/l 범위로, 표·저층 간 차이는 평균 5.5 mg/l로 크지 않아 반 폐쇄성 만임에도 조석에 의한 수직 혼합이 강함을 알 수 있었다(Fig. 5). 시기별로는 여름철인 7~8월에 상대적으로 만 중앙을 중심으로 높은 값을 보였으며, 그 이외의 시

기에서는 50~60 mg/l의 내외로 대체로 비슷한 값을 보였다.

Chlorophyll *a* 농도

식물플랑크톤 생체량인 chlorophyll *a* 농도는 표층과 저층의 변화 양상이 크기별로 다르게 나타났다. 표층의 경우, micro size의 농도는 겨울철인 2월에 peak를 보였고, 만의 중앙 정점에서 가장

Fig. 6. Chlorophyll *a* concentrations ($\mu\text{g/l}$) in Chunsu Bay from November 2009 to August 2011 (A: surface layer, micro size, B: surface layer, nano size. C: bottom layer, micro size. D: bottom layer, nano size).

높은 농도를 보였다. 그러나 염분이 낮았던 2011년에는 여름철인 7월 이후에도 만 안쪽 정점에서는 높은 농도를 보였다(Fig. 6A). Nano size의 농도는 여름철인 7~8월에 peak를 보였는데, 2010년에는 만의 안쪽과 중앙 정점에서, 2011년에는 만의 안쪽 정점에서만 높은 농도를 보였다(Fig. 6B).

저층의 경우, micro size의 농도는 표층과 마찬가지로 겨울철인 2월에 peak를 보이는 양상이었다(Fig. 6C). 그러나 농도는 안쪽 정점에서 가장 높아 표층과 정점의 차이를 보였다. Nano size 농도의 경우, 연중 peak를 보이지 않았으며, 평균 $1.3 \mu\text{g/l}$ 의 농도를 유지하였다(Fig. 6D).

Table 1. Mean abundances (cells/ml) of major phytoplankton in Chunsu Bay from November 2009 to August 2011.

Taxon (genus)	2009	2010					2011							Com. (%)
	Nov.	Feb.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Nov.	Feb.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Aug.	
	26	23	13	24	13	5	1	16	31	20	5	3	31	
<i>Eucampia</i>												366	2221	16
<i>Rhizosolenia</i>					<1		14	1889	7		6	5	230	13
<i>Chaetoceros</i>							3	8				23	1981	12
<i>Nitzschia</i>	5	53	1074	5	1	3	397	86	9	7		14	286	12
<i>Coscinodiscus</i>	43	327	19	7	29	6	11	282	96	137	13	47	20	6
<i>Pleurosigma</i>	1	320	7	7	2	5	22	13	31	1	3	67		3
<i>Melosira</i>	8	180	16	4	24	2	1	143	4	12	1	15		2
<i>Thalassiosira</i>	1	13	1	<1	3		9	132	19	17		33	71	2
<i>Actinopterychus</i>	6		1		1			1		5	1			<1
<i>Protoperidinium</i>	2	267	97	98	80	185	103	1	73	1	965	22	23	12
<i>Ceratium</i>	6			428	522	295	30	11	9	7	2	61		8
<i>Prorocentrum</i>	1	93	4	107	30	15	45	23	521	381	28	121		8
<i>Dinophysis</i>	3	27	3	5	14	114	1	1	6	1	38	47	4	2
<i>Dictyocha</i>	2	13	3	2	16	3	42	7	8	18	6	16	4	1
Sum of above listed taxa	78	1293	1225	663	722	628	678	2597	783	587	1063	837	4840	98
Others	1	100	7	4	5	<1	46	15	18	11	<1	92	98	2
Total	79	1393	1232	667	727	628	724	2612	801	598	1063	929	4938	100

Fig. 7. Composition (%) of phytoplankton groups in Chunsu Bay from November 2009 to August 2011.

식물플랑크톤

식물플랑크톤은 총 2개 문(division)에 속하는 31개의 속(genus) 수준의 분류군이 검색되었으며 식물플랑크톤 중 규조류 속인 *Eucampia*, *Chaetoceros*, *Rhizosolenia*, *Nitzschia*, *Coscinodiscus*, *Pleurosigma*, *Melosira*, *Thalassiosira*, *Actinoptychus* 등이 우점하였으며, 다음으로 와편모류인 *Ceratium*, *Dinophysis*, *Prorocentrum*, *Protoperdinium* 등과 규질편모류인 *Dictyocha*가 우점 하였다. 이들 14개 분류군의 세포수 합은 전체 식물플랑크톤 현존량의 약 98%를 차지하였다(Table 1). 식물플랑크톤 중 규조류는 가을철인 11월부터 겨울철인 2월까지 우점하였는데(Fig. 7), 주요 우점 속은 *Coscinodiscus*, *Nitzschia*, *Rhizosolenia* 등 이었다. 이후 봄철과 여름철에는 연도별로 규조류와 와편모류의 우점 시기가 다소 차이를 보였다. 2010년의 경우, 봄철인 5월까지 규조류(주로 *Nitzschia*)가 우점하였고 이후 여름철인 6월부터 8월까지 와편모류(*Ceratium*)가 우점하는 양상을 보였다. 그러나, 2011년에는 5월부터 7월까지 와편모류(*Protoperdinium*, *Prorocentrum*)가 우점하였으며 8월에는 다시 규조류(*Chaetoceros*, *Eucampia*)로 조성이 변하였다.

식물플랑크톤 현존량은 41~7,940 cells/ml 범위로 조사 기간 동

안 정점별로 변화 양상이 다르게 나타났다(Fig. 8). 2010년에는 겨울철인 2월에 모든 정점에서 현존량이 높았고 5월로 접어들면서 감소하였는데, 만의 안쪽 정점에서는 *Nitzschia*의 대량 출현으로 2월보다 더 증가하였다. 이후 와편모류가 우점한 여름철에는 7월에 만의 안쪽에서 높았고, 8월에는 만의 바깥쪽에서 높았다. 2011년에는 2월에 *Rhizosolenia*가 만의 안쪽과 중앙에서만 대량 출현하였고, 2월 이후에는 감소하였다. 여름철에는 8월초 만의 바깥쪽에 만 많았던 *Eucampia*가 8월말로 접어들면서 만 전체에 걸쳐 급증하였으며, 조사 기간 중 현존량이 가장 높았다(7,940 cells/ml).

중형동물플랑크톤

전체 중형동물플랑크톤은 총 7개 문(Phylum)에 속하는 39개 분류군이 출현하였으며 이중 요각류는 12속 18개 분류군이 동정되었다. 중형동물플랑크톤 중 우점한 18개 분류군의 개체수 합은 전체 개체수의 88~99%를 차지하였다(Table 2). 전체 중형동물플랑크톤의 출현량은 585~53,891 indiv./m³ (n=3) 범위로, 2010년과 2011년 모두 겨울철인 2월에 가장 낮았으며 이후 증가하여 여름철에 가장 높았고(2010년에는 7월, 2011년에는 6월), 가을철에는

Fig. 8. Phytoplankton cell numbers (cells/ml) in Chunsu Bay from November 2009 to August 2011.

Table 2. Mean abundances (indiv./m³, $\pm$ standard deviation, SD) and compositions (%) of major mesozooplankton in Chunsu Bay from November 2009 to August 2011 (n=9).

Taxon	2009						2010					
	Nov. 26		Feb. 23		May 13		Jun. 24		Jul. 13		Aug. 5	
	Mean $\pm$ SD	%	Mean $\pm$ SD	%	Mean $\pm$ SD	%	Mean $\pm$ SD	%	Mean $\pm$ SD	%	Mean $\pm$ SD	%
<i>Acartia hongii</i>	5 $\pm$ 5	<1	281 $\pm$ 100	28	3245 $\pm$ 1192	45	1554 $\pm$ 1207	48	13708 $\pm$ 10201	39	657 $\pm$ 717	20
<i>Acartia pacifica</i>	1 $\pm$ 1	<1							43 $\pm$ 25	<1	32 $\pm$ 21	1
<i>Calanus sinicus</i>	41 $\pm$ 26	2	15 $\pm$ 9	2	393 $\pm$ 217	5	15 $\pm$ 15	<1	36 $\pm$ 32	<1		
<i>Centropages abdominalis</i>			107 $\pm$ 60	11	1137 $\pm$ 338	16	3 $\pm$ 6	<1				
<i>Paracalanus crassirostris</i>	1 $\pm$ 2	<1	51 $\pm$ 21	5	2 $\pm$ 2	<1	1 $\pm$ 1	<1	144 $\pm$ 136	<1	2 $\pm$ 1	0
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	1050 $\pm$ 294	43	200 $\pm$ 8	20	361 $\pm$ 13	5	749 $\pm$ 542	23	15763 $\pm$ 7161	45	1238 $\pm$ 1317	38
<i>Labidocera bipinnata</i>							9 $\pm$ 9	<1	32 $\pm$ 43	<1	24 $\pm$ 25	1
<i>Corycaeus affinis</i>	208 $\pm$ 184	9	35 $\pm$ 8	3	21 $\pm$ 7	<1	32 $\pm$ 25	<1	447 $\pm$ 115	1	436 $\pm$ 20	13
<i>Oithona similis</i>	582 $\pm$ 723	24	109 $\pm$ 27	11	199 $\pm$ 55	3	65 $\pm$ 44	2	536 $\pm$ 309	2	89 $\pm$ 118	3
Copepod nauplius and eggs	99 $\pm$ 45	4	45 $\pm$ 3	5	107 $\pm$ 5	1	10 $\pm$ 11	<1	682 $\pm$ 359	2	3 $\pm$ 3	0
<i>Podon schmackeri</i>					1 $\pm$ 1	<1	25 $\pm$ 43	1	13 $\pm$ 10	<1		
Decapoda larvae			<1 $\pm$ 0.1	<1	23 $\pm$ 27	<1	117 $\pm$ 51	4	306 $\pm$ 170	1	139 $\pm$ 76	4
<i>Sagitta crassa</i>	60 $\pm$ 37	2	18 $\pm$ 7	2	38 $\pm$ 29	1	80 $\pm$ 49	2	267 $\pm$ 53	1	176 $\pm$ 32	5
Echinodermata larvae			33 $\pm$ 40	3			10 $\pm$ 15	<1	288 $\pm$ 123	1	15 $\pm$ 6	0
Bivalve larvae	17 $\pm$ 8	<1	1 $\pm$ 1	<1	70 $\pm$ 33	1	107 $\pm$ 78	3	911 $\pm$ 902	3	67 $\pm$ 45	2
Gastropoda larvae	3 $\pm$ 4	<1	2 $\pm$ 1	<1	254 $\pm$ 105	4	204 $\pm$ 162	6	296 $\pm$ 269	1	121 $\pm$ 89	4
Cirripedia larvae	17 $\pm$ 24	<1	1 $\pm$ 1	<1	242 $\pm$ 15	3	105 $\pm$ 111	3	178 $\pm$ 105	1	103 $\pm$ 15	3
<i>Oikopleura</i> spp.	285 $\pm$ 231	12	3 $\pm$ 1	<1	811 $\pm$ 741	11	41 $\pm$ 32	3	457 $\pm$ 305	1	24 $\pm$ 32	1
Sum of above listed taxa	2371 $\pm$ 1584	97	902 $\pm$ 288	90	6902 $\pm$ 2783	97	3159 $\pm$ 2403	99	34107 $\pm$ 20316	98	3125 $\pm$ 2547	95
Others	64 $\pm$ 63	3	101 $\pm$ 99	10	237 $\pm$ 151	3	33 $\pm$ 35	1	616 $\pm$ 419	2	160 $\pm$ 183	5
Total	2435 $\pm$ 1646	100	1003 $\pm$ 388	100	7139 $\pm$ 2933	100	3192 $\pm$ 2438	100	34723 $\pm$ 20735	100	3284 $\pm$ 2730	100

Table 2. Continued.

Taxon	2010						2011					
	Nov. 1		Feb. 16		May 31		Jun. 20		Jul. 5		Aug. 3	
	Mean $\pm$ SD	%	Mean $\pm$ SD	%	Mean $\pm$ SD	%	Mean $\pm$ SD	%	Mean $\pm$ SD	%	Mean $\pm$ SD	%
<i>Acartia hongii</i>	1 $\pm$ 1	<1	220 $\pm$ 140	21	14803 $\pm$ 9102	81	16436 $\pm$ 2712	81	4959 $\pm$ 2872	35	609 $\pm$ 122	12
<i>Acartia pacifica</i>	9 $\pm$ 5	1					2 $\pm$ 3	<1	16 $\pm$ 15	<1	31 $\pm$ 22	1
<i>Calanus sinicus</i>	97 $\pm$ 56	7	61 $\pm$ 39	6	96 $\pm$ 68	1	78 $\pm$ 75	<1	57 $\pm$ 43	<1	6 $\pm$ 10	<1
<i>Centropages abdominalis</i>	5 $\pm$ 4	<1	101 $\pm$ 27	9	233 $\pm$ 52	1	67 $\pm$ 17	<1				
<i>Paracalanus crassirostris</i>	1 $\pm$ 1	<1	23 $\pm$ 17	2	9 $\pm$ 16	<1	61 $\pm$ 91	<1	38 $\pm$ 62	<1	19 $\pm$ 27	<1
<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	759 $\pm$ 232	54	299 $\pm$ 174	28	195 $\pm$ 64	1	963 $\pm$ 474	5	3306 $\pm$ 2143	24	820 $\pm$ 1182	17
<i>Labidocera bipinnata</i>	1 $\pm$ 1	<1					32 $\pm$ 33	<1	57 $\pm$ 36	<1	65 $\pm$ 81	1
<i>Corycaeus affinis</i>	160 $\pm$ 11	11	51 $\pm$ 21	5	16 $\pm$ 10	<1	32 $\pm$ 18	<1	76 $\pm$ 41	1	309 $\pm$ 191	6
<i>Oithona similis</i>	58 $\pm$ 8	4	104 $\pm$ 28	10	155 $\pm$ 87	1	355 $\pm$ 57	2	122 $\pm$ 78	1	28 $\pm$ 22	1
Copepod nauplius and eggs	47 $\pm$ 9	3	53 $\pm$ 27	5	174 $\pm$ 64	1	65 $\pm$ 69	<1	287 $\pm$ 301	2	25 $\pm$ 26	1
<i>Podon schmackeri</i>					934 $\pm$ 791	5	583 $\pm$ 758	3	256 $\pm$ 87	2		
Decapoda larvae	11 $\pm$ 8	1	<1 $\pm$ 0.1	<1	64 $\pm$ 81	<1	459 $\pm$ 597	2	126 $\pm$ 81	1	148 $\pm$ 137	3
<i>Sagitta crassa</i>	25 $\pm$ 7	2	22 $\pm$ 5	2	99 $\pm$ 69	1	72 $\pm$ 56	<1	92 $\pm$ 38	1	345 $\pm$ 159	7
Echinodermata larvae			5 $\pm$ 3	<1	19 $\pm$ 21	<1	25 $\pm$ 6	<1	245 $\pm$ 78	2	63 $\pm$ 54	1
Bivalve larvae	6 $\pm$ 5	<1	2 $\pm$ 1	<1	263 $\pm$ 235	1	92 $\pm$ 29	<1	711 $\pm$ 553	5	710 $\pm$ 571	14
Gastropoda larvae	9 $\pm$ 12	1	3 $\pm$ 4	<1	382 $\pm$ 356	2	221 $\pm$ 126	1	349 $\pm$ 141	2	444 $\pm$ 399	9
Cirripedia larvae	19 $\pm$ 19	1	1 $\pm$ 1	<1	623 $\pm$ 290	3	566 $\pm$ 143	3	275 $\pm$ 189	2	479 $\pm$ 596	10
<i>Oikopleura</i> spp.	34 $\pm$ 13	2		<1		<1	48 $\pm$ 45	<1	2571 $\pm$ 1126	18	343 $\pm$ 565	7
Sum of above listed taxa	1243 $\pm$ 390	89	944 $\pm$ 489	88	18066 $\pm$ 11306	99	20157 $\pm$ 5307	99	13543 $\pm$ 7883	97	4442 $\pm$ 4166	91
Others	159 $\pm$ 78	11	124 $\pm$ 55	12	162 $\pm$ 114	1	245 $\pm$ 258	1	471 $\pm$ 365	3	463 $\pm$ 650	9
Total	1402 $\pm$ 468	100	1068 $\pm$ 544	100	18228 $\pm$ 11420	100	20402 $\pm$ 5565	100	14014 $\pm$ 8248	100	4905 $\pm$ 4816	100

Fig. 9. Temporal variation of major mesozooplankton abundance (indiv./m³) in Chunsu Bay from November 2009 to August 2011 (A: Total abundance, B: *Acartia hongi*, C: *Acartia pacifica*, D: *Paracalanus parvus* s. l., E: *Centropages abdominalis* F: *Corycaeus affinis*).

다시 감소하는 경향을 보였다(Fig. 9A). 2010년에는 7월에 만의 가장 안쪽 정점에서 *Acartia hongi*와 *Paracalanus parvus sensu lato*가 대량 출현하여 다른 정점에서보다 약 10배 이상 많았으며, 2011년에는 7~8월에 만의 안쪽 정점과 중앙 정점에서 3~4배 이상 감소하는 특징을 보였다. 공간적으로 만의 안쪽이 만의 바깥쪽보다 개체수의 변화 폭이 크게 나타났다.

최우점 요각류 *Acartia hongi*는 전 시기에 걸쳐 출현하였고 5월부터 7월까지 가장 우점하였다(Fig. 9B). 특히 2011년의 5, 6월에는 전체 동물플랑크톤 중 81% 이상의 높은 점유율을 보였다. 시기별 평균 개체수는 11월에는 5 indiv./m³ 미만으로 가장 적었으며, 겨울철 이후 증가하기 시작하여 2010년에는 7월에 13,708 indiv./m³, 2011년에는 6월에 16,436 indiv./m³로 가장 많았다. 8월 이후에는 개체수가 급격히 감소하였다. *A. hongi*와 같은 속인 *A. pacifica*는 조사기간 중 여름철인 7~8월과 가을철인 11월에만 출현하였으며 2011년 8월말에 만의 중앙을 중심으로 평균 398 indiv./m³로 가장 많았다(Fig. 9C).

두 번째 우점 요각류 *Paracalanus parvus* s. l.는 7월부터 11월 까지 우점하였으며 2011년에는 겨울철인 2월에도 우점한 분류군이었다(Fig. 9D). 시기별 평균 개체수는 2~5월에는 195~361 indiv./m³로 적었으나, 이후 증가하기 시작하여 6~11월에는 749~15,763 indiv./m³로 많은 개체수를 보였다. 특히 2010년의 7월과 2011년의 8월에 개체수가 급증하는 양상을 보였다.

요각류 *Centropages abdominalis*는 2월과 5월에 가장 많은 개체수가 출현하였으며, 여름철인 7~8월에는 출현하지 않았다(Fig. 9E). 2010년 5월에는 평균 1,137 indiv./m³로 가장 많은 개체수를 보였으며, 2010년 11월에는 평균 5 indiv./m³로 가장 적은 개체수를 보였다.

요각류 *Corycaeus affinis*는 5월 이후 개체수가 증가하기 시작하여 여름철인 7~8월에는 평균 347 indiv./m³로 가장 많은 개체수를 보인 후 가을철인 11월에는 감소하는 경향을 보였다(Fig. 9F). 공간적 분포는 대체로 만 전체에 걸쳐 고르게 분포하였지만 염분이 낮았던 2011년 여름철의 경우 분포의 중심은 만 입구 정점에 있었다.

십각류 유생인 Decapoda larvae는 전 계절에 걸쳐 출현하였으며, 봄철인 5월 이후 증가하기 시작하여 초여름인 6~7월에는 평균 252 indiv./m³로 출현량이 가장 높았다가 감소하였다.

이매패류와 복족류 유생은 11~2월에 평균 5 indiv./m³미만으로 출현량이 적었으나 5월 이후 증가하기 시작하여 여름철인 7~8월에는 287 indiv./m³로 가장 많이 출현하였다.

토 의

과거 자료와 비교

과거 자료의 취득: 심 등(1988)의 자료는 1985년 9월부터 1986년 10월까지 9회 관측·채집되었다. 정점 2, 3은 본 연구의 CS3에, 정점 4, 5는 CS2에, 정점 6은 CS1에 해당하였으며, 동물플랑크톤 채집은 망구 직경 60 cm, 망목 250 μ m의 NORPAC net (WP-2 type)을 이용하여 표층에서 채집하였다. 이 등(1992)의 자료는 1991년 11월과 1992년 2월과 5월에 관측·채집된 것으로, 정점 4는 본 연구의 CS3에, 정점 6, 7, 8은 CS2에, 정점 9, 10, 11은 CS1에 해

당하였다. 채집은 망목 335 μ m을 이용하였다. 한국전력공사(1994)의 자료는 1991년 8월에 관측·채집되었으며 정점은 CS3에 해당하였다. 채집은 망목 250 μ m을 이용하였다.

환경요인의 비교: 천수만내 방조제 건설은 1983년(A지구)과, 1985년(B지구)에 완공되었으며, 심 등(1988)의 자료는 방조제의 건설 직후인 1985년에서 1986년에 걸쳐 관측·채집이 되었다. 약 25년이 지난 본 연구시기와 많은 변화가 있을 것으로 예상된다.

과거 1985-1986년의 수온과 염분은 계절적 양상으로 본 연구시기인 2009-2011년과 유의한 차이가 나지 않았다(t-test, $p>0.05$). 수온은 2.1~27.3 $^{\circ}$ C 범위로 1월에 가장 낮고 8월에 가장 높았으며, 염분은 27.5~31.8 psu 범위로 8~10월에 낮았으며 이외의 시기는 평균 31.5 psu를 유지하였다(심 등, 1988). 그러나 부유물질량과 chlorophyll *a* 농도는 변화가 관측되었는데, 부유물질량은 본 연구시기의 양이 과거보다 평균 49 mg/l 많았으며(t-test, $p<0.05$), 월별 변화양상도 달랐다. 과거에는 북서계절풍의 영향을 받아 수괴의 혼합이 활발한 12월에 가장 많았지만, 본 연구시기에서는 담수 유입이 많은 여름철(7~8월)에 많았다. 이것은 본 연구시기의 여름철 담수방류가 과거보다 더 많은 영향을 미치고 있다는 것을 시사한다. Chlorophyll *a* 농도 역시 과거에는 3월(micro)에만 가장 높은 단일 peak 양상이었으나, 본 연구시기에는 2월(micro)과 7~8월(nano)에 2번 peak를 보였다. 여름철 담수의 방류가 과거보다 nano size 식물플랑크톤 증식에 많은 영향을 미치고 있다는 것을 유추해 볼 수 있었다.

동물플랑크톤 군집의 비교: 동물플랑크톤의 경우, 주의해야할 점은 채집 방법과 망목크기에 관한 부분이다. Tseng *et al.* (2011)은 South China Sea에서 망목 크기가 다른 세 종류(100, 200, 330 μ m)의 네트를 사용하여 동물플랑크톤을 채집하였을 때, 분류군 수에는 차이가 나지 않지만 망목 크기에 따라 우점종의 개체수는 일정한 비율로 변화가 있다고 하였다. 본 연구에서 비교한 1985-1986년(심 등, 1988)과, 1991년 8월(한국전력공사, 1994)의 자료는 250 μ m으로 채집되었으며, 1991년 11월과 1992년 2월과 5월의 자료는 335 μ m으로 채집되었다(이 등, 1992). 따라서 Tseng *et al.* (2011)가 분석했던 공동의 분류군만(속(genus) 수준) 선별하고, 비율을 고려하여 335 μ m의 망목크기의 개체수 평균이 1이라고 가정하였을 때, 250 μ m은 0.8배, 200 μ m은 0.5배로 개체수를 환산하였다.

같은 비율을 적용하여 비교하면, *Acartia hongi*, *Paracalanus parvus* s. l. *Centropages abdominalis*는 과거 1985-1986년, 1991-1992년과 비슷한 계절별 변동, 비슷한 전체 동물플랑크톤에 대한 조성률을 보였다. 그러나 출현량은 본 연구시기에 약 3배 이상 증가한 결과를 보였다(t-test, $p<0.05$; Fig. 10A). 겨울철과 봄철에는 *A. hongi*와 *C. abdominalis*가 우점하였으며, 여름철과 가을철에는 *P. parvus* s. l.이 우점하였다(Fig. 10B, C and D). 반면, 요각류 *Corycaeus affinis*는 1985-1986년, 1991-1992년에는 전체 동물플랑크톤의 12~17%를 차지하였지만, 2009-2011년에는 2%로 줄어들었으며, 개체수도 2배 이상 감소하였다.(t-test, $p<0.05$; Fig. 10E).

요각류 이외의 분류군에서는 정량적인 비교는 어렵지만 전체 동물플랑크톤 중 조성으로 비교해 볼 수 있었는데, 복족류인 Gastropoda larvae, 이매패류인 Bivalve larvae, 유형류인 Oikopleura spp.는 1985-1986년, 1991-1992년에는 0.1~2%미만으로 조성이 적

Fig. 10. Zooplankton abundance in Chunsu Bay in 1985-1986, 1991-1992 and 2009-2011 (A: Total abundance of Copepods, B: *Acartia hongii*, C: *Centropages abdominalis*, D: *Paracalanus parvus* s. l., E: *Corycaeus affinis*).

었으나, 2009-2010년에는 4-6%로 증가하였다. 반면 십각류 유생인 Decapoda larvae는 과거 5~12%의 조성률에서 1.1%로 상대적으로 줄어들었다. 지각류 분류군 내에서는 종 조성의 변화가 관측되었는데, 1985-1986년, 1991-1992년에는 *Evadne tergestina*, *E. nordmanni*, *Penilia avirostris*가 주로 출현한 반면, 2009-2011년에는 *Podon schmackeri*가 주로 출현하였다. 조성에 변동이 거의 없는 분류군으로는 모악동물인 *Sagitta crassa*와 따개비 유생, 다모류 유생 등이 있었다.

환경요인과 식물플랑크톤 군집의 관계

식물플랑크톤 군집은 빛, 영양염, 수온 등에 의해 많은 영향을 받으며, 특히 하구역에 서식하는 식물플랑크톤의 경우 담수 유입이 많고 적응에 따라 종 조성에 변화가 발생하기도 한다. 연구 기간 동안 천수만의 수온은 2.4~28.5 °C의 범위로 계절에 따라 큰 폭으로 변화하였다. 염분은 여름철을 제외한 시기에서는 변화폭이 2 psu 내외로 적었으나, 담수 방류량이 증가하는 여름철에는 만 안쪽에서 상대적으로 많이 낮아진 염분층이 관측되었다. 식물플랑크톤 군집이 이러한 환경요인의 변화에 어떠한 영향을 받았는지 파악하기 위하여 관측된 환경요인(수온, 염분, 부유물질량)과 chlorophyll *a* 농도, 식물플랑크톤 현존량과의 상관관계를 통해 유추해 보았다.

수온은 표층과 저층 모두에서 micro size chlorophyll *a* 농도와 음의 상관관계를 보였으며, nano size 농도와는 표층에서만 양의 상관관계를 보였다(Table 3). 그리고 와편모류의 현존량은 수온과 양의 상관관계를 보였다. 이는 수온 변화와 식물플랑크톤 군집의 변화에 많은 관계가 있음을 말해 주는데, 겨울철인 2월에는 크기가 큰 micro size의 농도가 높았고, 7~8월에는 크기가 작은 nano size의 농도가 높았던 결과와 일치 하고 있다. 또한 저온기에는 상대적으로 크기가 큰 규조류가, 고온기에는 크기가 작은 와편모류가 주를 이루는 사실과도 부합한다. 인근 아산만에서 현 등(2006)은 계절별로 식물플랑크톤 크기 구조가 변하는데, 수온이 낮은 겨울철과 이른 봄철에는 크기가 큰 소형 식물플랑크톤에 의해 대증식이 일어나고, 5월 이후에는 미소 식물플랑크톤이 우점한다고 하였다. 그리고 심과 여(1988)는 천수만에서 겨울철에 *Chaetoceros costatum*과 *Skeletonema costatum* 등의 규조류가 우점하지만, 여름철에는 남조류와 은편모조류 그리고 와편모류의 출현이 증가한다고 하였다. 본 연구에서도 겨울철인 2월에는 규조류인 *Cosinidiscus*, *Pleurosigma*, *Rhizosolenia* 등이 우점하였으며, 여름철인 7, 8월에는 와편모류인 *Ceratium*, *Protoperdinium* 등이 우점하였다. 이러한 변화는 겨울철에는 낮은 수온과 높은 영양염에서는 규조류가

상대적으로 유리하지만, 봄철 이후 증가하는 광량과 고수온에서는 와편모류가 잘 적응하는 결과로 해석된다. 이들의 조성 변화는 2010년의 경우, 5월에서 6월 한 달 사이 규조류(90%)에서 와편모류(95%)로, 2011년에는 7월에서 8월 한 달 사이 와편모류(97%)에서 규조류(62%)로 변한 것으로 보아, 최소 한 달 이내의 짧은 시간 간격동안에, 서해 연안에서 이루어진 다른 연구들보다 더욱 큰 폭으로 변한다는 사실을 알 수 있었다(최와 심, 1986; 이 등, 2005; 현 등, 2006). 그리고 수층별 chlorophyll *a* 농도에서는 2월에 전 수층에 걸쳐 높았지만 7~8월에는 표층에서만 높았는데, 이는 와편모류가 여름철에 표층을 중심으로 증식한다는 사실을 말해 주고 있었다.

여름철 표층에서 nano size의 와편모류의 증식은 염분과 부유물질량과의 상관관계를 통해서도 상관성을 파악해 볼 수 있었다. Nano size chlorophyll *a* 농도는 염분과 음의 상관관계를 보였고, 부유물질량과는 양의 상관관계를 보였다. 부유물질량은 여름철 담수 방류와 간접적으로 연관되어지는 환경요인으로, 여름철 간월호, 부남호의 부유물질량은 만내의 양보다 2배 이상 높은 80~160 mg/l의 범위를 보였다(<http://water.nier.go.kr>). 와편모류의 현존량은 여름철 만의 안쪽과 중앙 정점에서 가장 많았으며, 이들의 생체량으로 여겨지는 nano size의 농도도 높게 나타났다. 이는 여름철 증가하는 담수방류가 염분의 감소를 가져왔지만, 높은 영양염의 공급으로 여름철 와편모류의 증식을 가속화 시키고 있는 것으로 보여진다. 한편 저층의 nano size의 농도는 상대적으로 낮은 농도(평균 1.3 µg/l)로 연중 비슷했지만, 염분 및 부유물질량과의 상관관계에서는 표층과 반대의 양상이었다(염분과 양의 상관관계, 부유물질량과 음의 상관관계). 이는 표·저층의 환경이 많이 다르다는 것을 의미하며, 여름철 담수 방류의 영향이 한정된 상층에만 영향을 미치기 때문으로 추정된다.

식물플랑크톤 군집을 속 수준에서, 양적으로 공동 출현하는 정도의 척도로서 분석하고자 집괴분석을 실시하였다(Fig. 11). 상대적으로 높은 조성률(전체 식물플랑크톤 현존량의 88% 점유율)을 보인 11개 분류군의 현존량 간의 상관계수(r_{ij})를 1에서 빼주어 이를 분류군간 공동 출현의 유사도 거리로 간주하였다. 집괴간 거리 0.95를 기준으로 크게 3개의 대그룹(A, B, C)으로 구분할 수 있었으며, 그룹들은 우점시기가 서로 달랐다. A 그룹과 B 그룹은 모두 규조류로 이루어졌는데, A 그룹은 겨울철인 2월에 가장 우점하였고, B 그룹은 계절성이 뚜렷하지 않았다. C 그룹은 와편모류로 구성되었으며 여름철인 6~8월에 우점하였다. B 그룹은 규조류인 *Nitzschia*, *Chaetoceros*, *Eucampia*로 구성되었는데, *Nitzschia*는 2010년에는 5월과 11월에 우점하였고, 2011년에는 여름철인 8

Table 3. Correlation coefficients (r) between chlorophyll *a* concentration, phytoplankton abundance and environmental factors (seawater temperature, salinity and suspended particulate matter) in Chunsu Bay.

Environmental factors	Correlation coefficients (r)					
	Chlorophyll <i>a</i> concentration (µg/l)				Phytoplankton abundance (cells/ml)	
	Surface		Bottom		Bacillariophyceae	Dinophyceae
	Micro	Nano	Micro	Nano		
Temperature (°C)	-0.48*	0.41*	-0.63*			0.30**
Salinity (psu)		-0.55*		0.36*		
SPM (mg/l)		0.29**		-0.29**	-0.29**	

Asterisks indicate the level of significance at *p<0.05 and **p<0.1. Empty cells indicate no significant correlations.

Fig. 11. Dendrogram showing the degree of co-occurrence among the major eleven taxa of phytoplankton obtained by the cluster analysis with modified correlation coefficients ($1-r_{ij}$) of abundance data in Chunsu Bay from November 2009 to August 2011.

월에 우점하였다. *Chaetoceros*, *Eucampia*는 전 연구기간 동안 거의 출현하지 않았으나 2011년 8월에 많이 출현하는 양상을 보였다.

A 그룹의 규조류들은 겨울철인 2월에 전체 식물플랑크톤의 82~99%를 차지하며 우점하였다. 주로 크기가 큰 단일세포로 이루어졌는데, 2010년에는 *Coscinodiscus*가, 2011년에는 *Rhizosolenia*의 조성이 높았다. 반면, 봄철(2010년)에는 상대적으로 크기가 작은 B 그룹의 피침형 *Nitzschia*가 만 안쪽을 중심으로 대량 출현하였으며, 2011년 8월에는 B그룹의 *Chaetoceros*, *Eucampia*는 군체를 이루며 우점하였다. 이러한 규조류 군집 내 조성변화는 영양염 농도에 따른 크기 구조 변화와 수온의 영향으로 판단된다. 일반적으로 규조류는 영양염의 농도가 높은 시기에는 상대적으로 크기가 큰 세포가 우점하지만, 낮은 농도의 시기에서는 작은 크기의 세포가 성장에 유리한 것으로 알려져 있다(Armbrust and Chisholm, 1992; Maguer *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2009). 인근 아산만에서 이 등 (2005)은 겨울철인 2월에는 상대적으로 크기가 큰 *Skeletonema costatum*과 *Thalassiosira* spp.가 우점하지만, 5월로 접어들면서 낮아진 영양염이 이들의 성장을 제한하여, 크기가 작은 *Nitzschia*로 조성이 바뀐다고 보고하였다. 본 연구에서도 겨울철인 2월에는 상대적으로 크기가 큰 A 그룹의 규조류들이 우점하였지만, 대증식 이후 낮아진 영양염 농도(5월)에는 크기가 작은 B 그룹의 *Nitzschia*로 조성이 바뀐 것으로 생각된다. 한편 B 그룹의 *Chaetoceros*, *Eucampia*는 여름철인 2011년 8월에만 우점하였는데, 고수온이었지만 담수 방류로 인한 규산염의 증가가 많은 영향을 준 것으로 판단된다. 같은 시기(2011년)에 조사된 영양염 자료에 의하면 6월 이후 담수방류의 증가로 인한 규산염이 8월에 감소하였는데(미발표자료), 이는 *Chaetoceros*, *Eucampia*의 증식에 이용되었을 것으로 여겨진다. 동일 해역에서 이루어진 심과 여(1988)의 연구에서

도 여름철인 1986년 8월에 *Chaetoceros*, *Eucampia*는 31~75%를 차지하며 가장 우점한 분류군이었다.

천수만 해역에서는 겨울철에는 A 그룹의 규조류가 우점하며, 여름철에는 C 그룹의 와편모류가 우점하는 계절적 천이가 발생하지만, 상대적으로 영양염이 낮은 봄철(5월)과 담수 방류가 집중적으로 이루어지는 시기인 여름철(8월)에는 B그룹의 규조류들의 출현이 증가하는 것을 알 수 있었다.

환경요인과 동물플랑크톤 군집의 관계

천수만 해역에서 동물플랑크톤의 군집 변화를, 식물플랑크톤과 동일한 방법으로 높은 조성률(전체 동물플랑크톤의 86% 점유율)을 보인 13개 분류군을 대상으로 집괴분석을 실시하였다(Fig. 12). 집괴간 거리 0.65를 기준으로 크게 3개의 대그룹(A, B, C)으로 구분할 수 있었으며, 그룹 간 우점 시기가 서로 다름을 확인할 수 있었다. 그리고 이들 그룹들은 환경요인과의 관계가 서로 다르게 나타났다(Table 4).

첫 번째 A 그룹에는 요각류 *Acartia hongii*와 지각류인 *Podon schmackeri* 그리고 십각류 유생인 *Decapoda larvae*가 포함되었으며, 이 그룹은 봄철인 5월에서 초여름인 7월까지 가장 우점하였다. 이 그룹에 속한 분류군들은 수온과 염분에 대해서는 상관관계를 보이지 않았지만, 모두 먹이농도로 볼 수 있는 와편모류 현존량과 유의한 양의 상관관계를 보였다.

*Acartia. hongii*는 전체 동물플랑크톤의 46%를 차지한 최우점종이었는데, 5~7월에 가장 많이 출현하였다. 인근 해역인 경기만과 아산만에서 이루어진 연구에 따르면 *A. hongii*는 수온 약 15 °C 내외의 봄철(5월)에 가장 많은 개체수가 출현하며, 수온은 이들의 분포에 많은 영향을 준다고 하였다(윤과 최, 2003; 이 등, 2006; Lee and Park, 2002). 인천 연안에서 유 등(2006)은 봄철 이후 증가하

Fig. 12. Dendrogram showing the degree of co-occurrence among the major thirteen taxa of mesozooplankton obtained by the cluster analysis with modified correlation coefficients ($1-r_{ij}$) of abundance data in Chunsu Bay from November 2009 to August 2011.

Table 4. Correlation coefficients (r) between abundances of major zooplankton taxa and environmental factors (seawater temperature, salinity and phytoplankton abundance) in Chunsu Bay.

Taxon	Correlation coefficients (r)			
	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Salinity (psu)	Phytoplankton abundance (cells/ml)	
			Bacillariophyceae	Dinophyceae
A Group	<i>Acartia hongii</i>			0.40*
	<i>Podon schmackeri</i>			0.36*
	Decapoda larvae	0.31**		0.43*
B Group	<i>Acartia pacifica</i>	0.40*	-0.38*	0.57*
	B1 <i>Paracalanus crassirostris</i>	0.27**	-0.30**	0.60*
	Echinodermata larvae	0.40*	-0.38*	0.37*
	B2 Bivalve larvae	0.48*	-0.52*	
	Gastropoda larvae	0.51*	-0.45*	
	B3 <i>Corycaeus affinis</i>	0.55*		
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l.	0.37*		
C Group	<i>Calanus sinicus</i>	0.28**		
	<i>Centropages abdominalis</i>			
	Hydromedusa larvae		0.31**	-0.35*

Asterisks indicate the level of significance at * $p < 0.05$ and ** $p < 0.1$. Empty cells indicate no significant correlations.

는 수온과 함께 먹이농도인 chlorophyll a 도 개체군의 증가에 많은 영향을 준다고 하였다. 하지만 이 종은 여름철로 접어들면서 섭식력과 난생산력이 감소되고 자연사망률이 증가하면서 개체군의 크기가 감소하는 것으로 알려져 있다(서와 서, 1993; Soh and Jeong, 2003). 본 연구에서 *A. hongii*는 2월 이후 개체수가 증가하기 시작하였으며, 5월에 높은 개체수가 출현하였다. 비록 수온과 유의한 상관관계를 보이지는 않았지만($p > 0.1$) 겨울철의 높은 chlorophyll a 농도와 이후 증가하는 수온의 영향으로 개체수가 증

가한 것으로 판단된다. 그러나 연구기간동안 *A. hongii*는 5월 이후에도 개체수가 계속 증가하였으며, 2010년에는 7월, 2011년에는 6월에 가장 많은 개체수가 출현하는 양상을 보였다. 이것은 인근 해역보다 1~2달 늦은 우점시기로, 5월 이후 증가하는 수온에도 *A. hongii*의 재생산은 계속되었고, 이로 인해 초여름인 6~7월까지 높은 개체수를 유지시킨 결과로 해석된다.

식물플랑크톤의 양이 적거나 작은 크기의 식물플랑크톤이 우점하는 시기에 종속영양 원생생물은 요각류의 먹이원으로써 중요한

역할을 하는 것으로 알려져 있다(Calbet and Saiz, 2005; Fileman et al., 2007). 양과 최(2009)의 연구에서도 *Acartia hongii*는 섬모류(Ciliata)와 원생동물(Protozoa)에 많이 의존하며, Youn and Choi (2007)는 경기만에서 *A. hongii*의 알 생산력은 섬모류의 생물량이 높은 하계에 증가한다고 하였다. 본 연구에서 외편모류의 현존량과 *A. hongii*의 개체수는 유의한 양의 상관관계를 보였지만, 이는 외편모류의 먹이농도 보다는 여름철로 접어들면서 증가한 입자 쇄설물과 편모, 섬모충류의 선택적 섭식에 의한 것으로 판단되며, 이들의 섭식으로 인한 재생산으로 여름철인 6~7월까지 우점시기가 연장된 것으로 여겨진다.

한편, 그룹 내 십각류 유생인 Decapoda larvae는 수온과도 유의한 양의 상관관계를 보였으며, 증가하는 수온과 먹이생물인 외편모류가 이들의 성장에 많은 영향을 주는 것으로 여겨진다.

두 번째 B 그룹에는 요각류 *Acartia pacifica*, *Paracalanus parvus* s. l., *Corycaeus affinis* 등을 포함한 7개 분류군들로 이루어졌으며, 이 그룹은 여름철인 7~8월에 가장 우점하였다. 이들 분류군들은 수온과 모두 유의한 양의 상관관계를 보였으며 염분과는 대체로 음의 상관관계를 보였다. B 그룹에 속한 분류군들은 몇 개의 소그룹으로 나눌 수 있었는데, 이들 소그룹들은 각각 다른 환경요인들과의 상관관계를 보이고 있었다.

소그룹 B1은 먹이농도인 규조류 현존량과 유의한 양의 상관관계를 보이는 요각류 *Acartia pacifica*, *Paracalanus crassirostris*, 불가사리 유생 등이 포함된 그룹으로, 이들은 여름철 외편모류의 우점에도 불구하고 규조류 현존량과 유의한 양의 상관관계를 보였다. 요각류 *A. pacifica*는 서해 연안에서 고수온기에 개체수가 증가하며, 출현하는 염분의 범위는 24~31 psu로 알려져 있다(서 등 1991; 최 등, 1998). *P. crassirostris*는 경기만에서 여름철인 8월에 내만을 중심으로 급증하며, chlorophyll *a* 농도와 유의한 양의 상관관계를 보인다고 하였다(윤과 최, 2003). 본 연구에서 두 종은 여름철 만의 안쪽을 중심으로 출현하였으며, 특히 2011년 8월말 규조류인 *Chaetoceros*와 *Eucampia*가 우점한 시기에 만의 안쪽과 중앙에서 가장 많은 개체수를 보였다. 따라서 이 두 종은 먹이로 간주되는 규조류의 농도에 많은 영향을 받는 것으로 판단된다. 하지만 이 두 종은 규조류가 우점하는 겨울철에는 출현량이 매우 적었으며 *A. pacifica* 경우 전혀 출현을 하지 않았다. 따라서 이들의 분포에는 일차적으로 수온에 의해 결정되며, 고수온과 낮은 염분의 환경 조건이 만족되면 다음에는 규조류의 농도에 많은 영향을 받는 것으로 판단된다.

소그룹 B2는 복족류인 Gastropoda larvae와 이매패류인 Bivalve larvae로 이루어졌으며, 수온과 양의 상관관계, 염분과 음의 상관관계를 보이며, 5월 이후 개체수가 증가하기 시작하여 여름철인 7~8월에는 가장 많이 출현하였다.

Paracalanus parvus s. l.와 *Corycaeus affinis*가 속한 소그룹 B3은 수온과는 양의 상관관계를 보였지만 염분과 상관관계를 보이지 않았다. 한국 근해에서 *P. parvus* s. l.의 분포에 관한 많은 연구가 이루어졌으나 계절성이 뚜렷하지 않으며 서식 해역에 따라 출현하는 양상이 다르고, 같은 해역이라도 해마다 같은 양상을 보이지 않는다고 하였다(명 등, 1994; 이 등, 2006). *C. affinis*도 서해 중동부에서 이루어진 연구에서는 가을철에 우점 하였지만(황과 최, 1993), 평양만에서는 수온이 낮은 겨울철에도 높은 개체수를 보

였으며(장 등, 2004), 아산만, 가막만, 진해만, 만경 동진강 하구에서 이루어진 연구에서는 전 계절에 걸쳐 고루 출현하였다(서 등, 1991; 서 등, 2002; 서와 최, 2004; 이 등, 2006). 이 두 종은 환경요인, 특히 수온에 대한 내성이 상대적으로 클 것으로 예상되며, 생태적 특성이 다양할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 *P. parvus* s. l.는 전체 동물플랑크톤의 26% 차지하는 두 번째 우점종으로 전 시기에 걸쳐 출현하였지만 5월 이후 개체수가 증가하기 시작하여 7~8월에 가장 많았다. *C. affinis*도 전 계절에 걸쳐 출현하였지만 여름철에 가장 많은 개체수가 출현하였다. 그러나 이 두 종들의 분포에서 가장 큰 특징은 염분이 낮았던 2011년 여름철에 공간적으로 만 안쪽과 중앙에서 개체수 감소를 보인다는 것이었다. 방류량이 많았던 시기에는 만 입구 정점인 CS3에만 주로 분포하였다. 따라서 이들은 천수만에서 전 시기에 걸쳐 수온과 양의 상관관계를 보이며 수온이 증가함에 따라 개체수가 증가하지만, 여름철에는 담수방류에 의한 염분 하강에 많은 영향을 받고 있는 것으로 생각된다.

세 번째 그룹 C에는 요각류 *Calanus sinicus*, *Centropages abdominalis*, 자포동물인 해파리 유생이 포함되었으며 이 그룹은 겨울철인 2월부터 봄철인 5월까지 우점하였다. 이 그룹의 종들과 수온과는 유의한 상관관계를 보이지 않았으며, *C. sinicus*만 염분과 유의한 양의 상관관계를 보였다. 요각류 *C. sinicus*는 서해 연안에서 봄철인 5월에 주로 우점하며(서 등, 2002; 서와 최, 2004; 장 등, 2004; Choi and Park, 1993; Lee and Park, 2002), *C. abdominalis*도 겨울철과 봄철(12월~4월)에 주로 출현하는 종으로 알려져 있다(박 등, 2002; 서 등, 2002; 서와 최, 2004; 장 등, 2004). 본 연구에서도 봄철인 5월에 가장 우점하였으며, 천수만내 봄철 수온과 염분이 이들의 서식과 재생산에 적절한 환경이었던 것으로 판단된다. 그룹 내 자포동물인 해파리 유생은 규조류의 현존량과 양의 상관관계를 보였다.

천수만에서 요각류 *Acartia hongii*와 *Paracalanus parvus* s. l.는 전체 동물플랑크톤 개체수에서 46%, 26%를 차지하며 가장 높은 조성률을 보인 분류군이었다. 많았던 시기에는 조성률이 더욱 높았는데, 2010년 7월에는 두 종의 개체수 합이 전체 동물플랑크톤의 84% 이상 점유하였으며, 2011년에는 6월에는 86% 이상을 점유하였다. 시기별 개체수 변동을 보면, *A. hongii*는 2010년 6월에는 평균 1,554 indiv./m³로 적었으나, 7월에 13,708 indiv./m³로 약 9배 증가하였으며, *P. parvus* s. l.은 6월에 평균 749 indiv./m³에서 7월에 15,763 약 21배 증가하였다. 이것은 매우 짧은 기간 동안에 일어난 급격한 개체군의 증가로, 이들의 생활사를 고려해 볼 때, 전입(immigration)에 의한 경우와 생활사의 진행에 따른 재생산(reproduction)에 의한 경우 등으로 설명되어야 할 것이다. 천수만이 반 폐쇄적인 구조로 외부와 해수 교환이 매우 느리다는 점과 동물플랑크톤의 제한된 이동 능력 등을 고려해보면 재생산에 의한 결과로 보는 것이 타당할 것이다.

일반적으로 해양에서 지각류(Cladocera)나 윤충류(Rotifera)에 속하는 동물플랑크톤은 서식환경이 나빠지면 휴면란(resting egg)을 생산하는 것으로 알려져 있으며, 요각류 중 일부도 휴면란을 생산하는 것으로 보고되었다(Naess, 1991; Engel and Hirche, 2004; Chan et al., 2008; Glippa et al., 2011). 그러나 *Acartia hongii*와 *Paracalanus parvus* s. l.은 아직까지 휴면란을 생산한다고 보

고된 바는 없으며, 이들 속(genus)은 알에서 성체에 도달하는데 걸리는 시간이 약 20~30일로 알려져 있다(강과 강, 1998). 따라서 *A. hongii*와 *P. parvus* s. l.의 급격한 개체수의 증가는 이들의 생활사를 고려해 볼 때, 알과 유생은 개체수가 급격히 증가하던 시기 이전에도 많았었으며, 200 μm 망목크기의 네트로 채집되지 않은 것으로 여겨진다. 또한 동물플랑크톤 검경·계수에서 copepod egg와 nauplius로 분류되던 분류군도 200 μm 네트로 채집된 경우, 실제 보다 그 양이 과소평가 될 수 있으며, 상대적으로 큰 사이즈 요각류 소수 종의 재생산으로 잘못 평가 되어 개체수의 급격한 증가를 설명하지 못할 수 있다. 따라서 *A. hongii*와 *P. parvus* s. l. 같은 상대적으로 작은 요각류의 개체수 변동을 파악하기 위해서는 보다 짧은 간격의 현장 채집이나, 해수 채수나 표층 퇴적물의 sampling에 의한 방법이 같이 이루어져야 할 것이다.

담수유입이 동·식물플랑크톤 군집에 미치는 영향

일반적으로 온해 연안 해역에서 식물플랑크톤 대증식은 봄과 가을에 발생하는 것으로 알려져 있다(Zingone *et al.*, 1995; Carstensen *et al.*, 2004). 그러나 본 연구에서는 겨울철인 2월에 규조류를 중심으로 하는 식물플랑크톤 대증식이 발생하였으며, 2010년 2월에만의 안쪽 정점에서는 20 $\mu\text{m}/\text{l}$ 이상의 농도를 보였다. 심과 여(1988)는 천수만에서 3월에 식물플랑크톤 대증식이 발생한다고 하였으며, 인근 해역인 아산만에서도 이 등(2005)은 겨울철인 2월에 식물플랑크톤 대증식이 발생한다고 하였다. 서해 중부에 위치한 인공호로 둘러싸인 만에서 겨울철에 식물플랑크톤 대증식이 일어난 이유에 대해서 박 등(2008)은 수온 보다는 겨울철 활발한 수괴 혼합으로 공급된 영양염과 인공호로부터 공급된 영양염을 이용한 결과라고 하였다. 본 연구 해역에서 겨울철인 2월에 방류된 방류량은 2010년에 31,350 천톤, 2011년에 435 천톤이며, 대형 방조제(부남호, 간월호)가 위치한 만의 안쪽(북쪽)으로 갈수록 chlorophyll *a* 농도가 증가하였다. 그리고 2010년 2월에는 규조류인 *Coscinodiscus*가 2011년 2월에는 *Rhizosolenia*가 만 안쪽과 중앙을 중심으로 대량 출현하였으며, 출현량이 적었지만 2월에 검정된 모든 외편모류의 분포의 중심이 만 안쪽에 있었다. 이것으로 미루어 볼 때, 여름철보다는 적은 양이지만 주변 인공호에서 유입되는 담수가 만의 안쪽에 서식하는 식물플랑크톤 군집에 영양염 공급원으로서 중요한 역할을 하고 있는 것으로 추정된다.

동물플랑크톤 군집과 담수 방류 사이의 관계는 일차적으로 수온과 염분의 변화에서, 이차적으로는 먹이농도가 되는 식물플랑크톤 군집의 변화에서 논의될 수 있다. 연구기간 동안 담수 방류로 인해 수온과 염분의 변화폭은 만의 안쪽이 바깥쪽보다 컸으며, 담수 방류로 인한 영양염 공급은 겨울철인 2월과 여름철인 7~8월에 식물플랑크톤 증식에 많은 영향을 미쳤다. 이러한 담수 방류가 동물플랑크톤의 군집에 미치는 영향 정도를 파악하기 위해서 분류된 모든 동물플랑크톤을 대상으로(99%) 주성분 분석(PCA)을 실시하였다. 분석결과 분포의 변이 정도의 32%를 제1주성분이, 17%를 제2주성분이 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 이들 성분과 환경요인과의 상관관계를 파악해본 결과, 제1주성분은 수온과 양의 상관관계($r=0.58$, $p<0.05$), 염분과 음의 상관관계($r=-0.61$, $p<0.05$), 먹이인 전체 식물플랑크톤 현존량과 양의 상관관계를 보였고($r=0.62$, $p=0.03$), 제2주성분은 담수 방류량과 양의 상관관계($r=0.57$, $p<0.05$),

nano size의 chlorophyll *a* 농도와 양의 상관관계를 보였다($r=0.57$, $p<0.05$). 따라서 제1주성분은 전체적인 계절적인 환경변화와 그에 따른 식물플랑크톤의 현존량 변동과 관련이 높은 것으로 여겨지며, 제2주성분은 여름철 담수 방류와 그에 따른 nano size의 먹이농도와 관련이 높은 것으로 여겨진다. 천수만내 전체 동물플랑크톤 군집에는 일차적으로 수온, 염분의 변화와 먹이로 간주되는 식물플랑크톤 현존량에 가장 많은 영향(32%)을 받고 있으며 그 다음으로 여름철 담수 방류에 의한 환경변화(17%)가 영향을 주는 것으로 유추해 볼 수 있었다.

결론

1. 천수만의 식물플랑크톤 군집은 계절에 따라 변하는 일사량과 수온 그리고 담수유입에 따른 영양염 공급에 의해 규조류와 외편모류 사이의 조성변화가 일어났으며, 한 달 이내의 짧은 기간에서 서해 연안의 다른 해역에서보다 큰 폭으로 변화하였다. 규조류 군집 내에서는 크기별 천이현상이 관측되었다.
2. 동물플랑크톤 군집은 계절에 따른 먹이농도와 수온, 염분에 의해서 군집의 구조가 변하고 있었다. 우점시기에 따라 크게 3 그룹으로 나눌 수 있었는데, 이들 그룹들은 환경요인에 대해서 상관관계가 서로 다르게 나타났다.
3. 여름철 주변 인공호로부터 유입되는 담수 방류는 표층에 한해서 외편모류 증식에 많은 영향을 미치고 있었으며, 동물플랑크톤 군집에는 염분하강과, 먹이농도의 변화로 군집구조의 변화를 야기하였다.
4. 본 연구시기(2009-2011년)와 과거(1985-1986년, 1991-1992년)의 동물플랑크톤 군집 비교에서 주요 우점종인 *Acartia hongii*, *Paracalanus parvus* s. l., *Centropages abdominalis*는 비슷한 계절별 변동과 조성률을 보였으나 출현량은 과거보다 약 3배 이상 증가한 결과를 보였고, 요각류 이외의 분류군에서는 조성의 변화가 관측되었다.

사사

본 연구는 국토해양부 해양한국발전프로그램(KSGP) 중 2010층층이그랜트사업의 지원으로 이루어졌음. 논문의 내용을 다듬어주신 두 분의 심사위원께 감사드립니다.

참고문헌

- 강형구, 강용주, 1998. 실험실에서 요각류 *Acartia steueri*의 성장과 발생. 한국수산학회지, **31**: 842-851.
- 김동선, 임동일, 전수경, 정희수, 2005. 한국 서해 천수만의 화학적 수질특성과 부영양화. Ocean and Polar Research, **27**: 45-58.
- 김창식, 1996. 천수만의 물리적 해양 환경. 충남대학교 해양연구소. 해양연구소 심포지움 논문집, pp. 1-21.
- 국립지리원, 1977. 연안해역 지형측량 보고서. 56 pp.
- 명철수, 유재명, 김용서, 1994. 아산만 해역의 동물플랑크톤 분포. 한국해양학회지, **29**: 336-375.
- 박동원, 1976. 원격탐사에 의한 서해안 천수만 간척지 지형 연구.

- 과학기술처 R-76-72, 83 pp.
- 박수운, 박경수, 김형철, 김평중, 김전풍, 박중현, 김숙양, 2006a. 천수만의 수질환경 특성과 장기변동. 한국환경과학회지 **15**: 447-459.
- 박 철, 이두별, 이창래, 양성렬, 정병관, 2008. 아산만 해역 동-춘계 대증식기의 플랑크톤 변화. 한국해양학회지, **13**: 308-319.
- 박 철, 이평강, 양성렬, 2002. 계절별 염분 변화에 따른 섬진강 하구역 동물플랑크톤의 분포 변화. 한국해양학회지, **7**: 51-59.
- 박홍식, 강래선, 이재광, 2006b. 천수만 조하대 연성저질에 서식하는 저서동물 우점종의 분포 양상과 저서 환경. 한국수산학회지 **39**: 214-222.
- 서해립, 서호영, 차성식, 1991. 만경 동진강 하구계의 동물플랑크톤의 분포와 염분. 한국해양학회지, **26**: 181-192.
- 서호영, 서해립, 1993. 광양만의 부유성 요각류 출현량의 계절변동. 한국환경생물학회지, **22**: 118-129.
- 서호영, 이인태, 윤양호, 최상덕, 이삼노, 한명일, 김병섭, 강운호, 이우범, 2002. 가막만에 출현하는 동물플랑크톤의 종조성과 계절별 출현 양상. 한국환경생물학회지, **20**: 118-129.
- 서호영, 최상덕, 2004. 진해만에 출현하는 동물플랑크톤의 종조성과 계절별 출현양상. 한국환경생물학회지, **22**: 43-56.
- 신윤근, 심재형, 조준성, 박용철, 1990. 천수만 미세플랑크톤의 상대적 중요성: 종조성, 개체수, 클로로필 및 일차생산력. 한국해양학회지, **25**: 217-228.
- 심재형, 고철환, 이태원, 김상중, 박용철, 1988. 황해 내만역의 해양생태계 분석. 한국과학재단보고서, 246 pp.
- 심재형, 신윤근, 1989. 천수만 일차생산자의 생물량, 식물플랑크톤 탄소량과 세포개체수 및 클로로필과의 관계. 한국해양학회지, **14**: 194-205.
- 심재형, 신윤근, 이원호, 1991. 만경강 하류의 환경과 식물플랑크톤 군집. 한국육수학회지, **24**: 45-54.
- 심재형, 여환구, 1988. 천수만 식물플랑크톤의 공간적, 시간적 변화. 한국해양학회지, **23**: 130-145.
- 심재형, 윤구현, 1990. 천수만 동물플랑크톤의 계절변화와 생산량. 한국해양학회지, **25**: 229-239.
- 심재형, 이원호, 1979. 서해 천수만의 식물플랑크톤에 대하여. 한국해양학회지, **14**: 6-14.
- 양은진, 최중기, 2009. 섬모충류에 대한 요각류 *Acartia hongii*의 섭식: 실험실 연구. Ocean and Polar Research, **31**: 265-276.
- 유성규, 1962. 충청남도 연안(여청도, 천수만, 군산지역)에 있어서 Microplankton의 양 및 조성에 관한 연구. 중앙수지 간사지 기본 조사 보고서, **2**: 57-72.
- 유정규, 윤석현, 최중기, 2006. 인천 연안에서 요각류 *Acartia hongii* 춘계개체군 형성의 영향 요인. 한국해양학회지, **11**: 108-116.
- 윤석현, 최중기, 2003. 경기만 동물플랑크톤 군집의 시-공간적 분포. 한국해양학회지, **8**: 243-250.
- 이상현, 신용식, 양성렬, 박 철, 2005. 아산만 식물플랑크톤의 계절별 군집분포 특성. Ocean and Polar Research, **27**: 149-159.
- 이재광 외 18명, 1992. 연안역 개발에 따른 해양 생태계 변화 연구 (1차년도). 과학기술처 BSPG 00158-464-3, 93 pp.
- 이창래, 박철, 양성렬, 신용식, 2006. 아산만 해역 중형동물플랑크톤의 시공간적 변동. 한국해양학회지, **11**: 1-10.
- 이태원, 1996. 천수만 어류의 종조성 변화 1-저어류. 한국수산학회지, **29**: 71-83.
- 이태원, 최만식, 양성렬, 마채우, 노영재, 박수철, 2011. 천수만해역 환경조사 및 어장 이용방안 연구용역 최종보고서. 충청남도, pp. 91-108.
- 장민철, 장풍국, 신경순, 박동원, 장만, 2004. 광양만 동물플랑크톤 군집의 계절변화. 한국환경생물학회지, **22**: 11-29.
- 최중기, 심재형, 1986. 서해 경기만 식물플랑크톤에 대한 생태학적 연구 III. 식물플랑크톤 종조성, 현존량, 일시부유플랑크톤. 한국해양학회지, **21**: 156-170.
- 최상덕, 김영식, 한경호, 1998. 광양만의 동물성 플랑크톤 군집구조 특성에 관한연구. 여수대학교 논문집, **13**: 959-971.
- 한국전력공사, 1994. 보령(신규)화력 발전소 건설사업 환경영향평가서. 376 pp.
- 현봉길, 신용식, 박 철, 양성렬, 이영준, 2006. 아산만 식물플랑크톤 크기구조의 시-공간적 변동. 한국환경생물학회지 **24**: 7-18.
- 황학진, 최중기, 1993. 황해 중동부 해역 동물플랑크톤의 계절적 분포 특성. 한국해양학회지, **28**: 24-34.
- Armbrust, E.V. and S.W. Chisholm, 1992. Patterns of Cell-Size Change in a Marine Centric Diatom-Variability Evolving from Clonal Isolates. J. Phyc., **28**: 146-156.
- Bautista, B. and R.P. Harris, 1992. Copepod gut contents, ingestion rates and grazing impact on phytoplankton in relation to size structure of zooplankton and phytoplankton during a spring bloom. Mar. Ecol. Prog. Ser., **82**: 41-50.
- Calbet A. and E. Saiz, 2005. The ciliate-copepod link in marine ecosystem. Aquat. Microb. Ecol., **38**: 157-167.
- Carstensen, J., D.J. Conley and P. Henriksen, 2004. Frequency, composition and causes of summer phytoplankton blooms in a shallow coastal ecosystem, the Kattegat. Lomnol. Oceanogr., **49**: 191-201.
- Chan, E.M., A.M. Derry, L.A. Watson and S.E. Arnott, 2008. Variation in calanoid copepod resting egg abundance among lakes with different acidification histories. Hydrobiologia, **614**: 275-284.
- Choi, K.H. and C. Park, 1993. Seasonal fluctuation of zooplankton community in Asan Bay, Korea., J. Kor Fish. Soc., **26**: 424-437.
- Engel, M. and H.J. Hirche, 2004. Seasonal variability and inter-specific differences in hatching of calanoid copepod resting eggs from sediments of the German Bight (North Sea). J. Plankton Res., **26**: 1083-1093.
- Fileman, E., T. Smith and R. Harris, 2007. Grazing by *Calanus helgolandicus* and *Para-Pusedocalanus* spp. on phytoplankton and protozooplankton during spring bloom in the Celtic Sea. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **348**: 70-84.
- Glippa, O., S. Souissi, L. Denis, and S. Lesourd, 2011. Calanoid copepod resting egg abundance and hatching success in the sediment of the Seine estuary (France). Estuar. Coast. Shelf Sci., **92**: 255-262.
- Lee, C.R. and C. Park, 2002. Long-term variation of zooplankton composition and abundance in Asan Bay, Korea: in it influence of dyke construction?. The Yellow Sea, **8**: 9-18.
- Lee, D.B., H.Y. Song, C. Park and K.H. Choi, 2012a. Copepod feeding in a coastal area of active tidal mixing: diel and monthly variations of grazing impacts on phytoplankton biomass. Mar. Ecol.-Evol. Persp. **33**: 88-105.
- Lee, J.S., K.H. Kim, J.H. Shim, J.H. Han, Y.H. Choi, and B.J. Khang,

- 2012b. Massive sedimentation of fine sediment with organic matter and enhanced benthic-pelagic coupling by an artificial dyke in semi-enclosed Chonsu Bay, Korea. *Mar. Pollut. Bull.*, **64**: 153–163.
- Maguer, J.F., S. L'Helguen, M. Waeles, P. Morin, R. Riso, and J. Caradec, 2009. Size-fractionated phytoplankton biomass and nitrogen uptake in response to high nutrient load in the North Biscay Bay in spring. *Cont. Shelf Res.*, **29**: 1103–1110.
- Marshall, H.G. and W.A. Raymond, 1990. A comparison of phytoplankton assemblages and environmental relationships in three estuarine river of the lower Chesapeake Bay. *Estuaries*, **13**: 287–300.
- Naess, T., 1991. Marine Calanoid Resting Eggs in Norway-Abundance and Distribution of 2 Copepod Species in the Sediment of an Enclosed Marine Basin. *Mar. Bio.*, **110**: 261–266.
- Reynolds, C.S., S.W. Wiseman, B.M. Godfrey, and C. Butterwick, 1983. Some effects of artificial mixing on the dynamics of the phytoplankton populations in large limnetic enclosures. *J. Plankton Res.*, **5**: 203–234.
- Soh, H.Y. and H.G. Jeong, 2003. Spatio-temporal distribution of genus *Acartia* (Copepoda: Calanoid) in the southwestern waters of Korea. *Korean J. Environ. Biol.*, **21**: 422–427.
- Tseng, L.C., H.U. Dahms, J.J. Hung, Q.C. Chen and J.S. Hwang, 2011. Can different mesh sizes affect the results of copepod community studies?. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **298**: 47–55.
- Wang, H.L., B. Q. Huang and H.S. Hong, 2009. Size-fractionated productivity and nutrient dynamics of phytoplankton in subtropical coastal environments. *Hydrobiologia*, **352**: 97–106.
- Youn S.H. and J.K. Choi, 2007. Egg production of the copepod *Acartia hongi* in Kyeonggi Bay, Korea. *J. Mar. Sys.*, **67**: 217–224.
- Zingone, A., R. Casotti, M.R. Dalcà, M. Scardi and D. Marino, 1995. St-Martins summer: The case of an autumn phytoplankton bloom in the Gulf of Naples (Mediterranean Sea). *J. Plankton Res.*, **17**: 575–593.

2012년 2월 27일 원고접수

2012년 4월 4일 수정본 접수

2012년 4월 18일 수정본 채택

담당편집위원: 이준백