

섬진강 하구역에서 염분경사에 따른 동·식물플랑크톤의 현존량 및 종조성

권기영* · 이평강¹ · 박철¹ · 문창호 · 박미옥
부경대학교 해양학과, ¹충남대학교 해양학과

Biomass and Species Composition of Phytoplankton and Zooplankton along the Salinity Gradients in the Seomjin River Estuary

KWON KEE-YOUNG*, PYUNG-GANG LEE¹, CHUL PARK¹, CHANG-HO MOON AND MI-OK PARK

Department of Oceanography, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

¹Department of Oceanography, Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea

1999년 3월, 7월, 9월 및 11월에 섬진강 하구역에서 염분경사에 따른 식물플랑크톤과 동물플랑크톤의 현존량과 종 조성의 변화를 조사하였다. 조사 정점은 지리적 위치보다는 각 조사시마다 표층 염분을 현장에서 측정하여 결정하였다. 식물플랑크톤은 총 96종이 동정되었으며, 그 중 돌말류가 60종으로 전 조사해역에서 출현하였다. 저염분역에서는 녹조류의 종수가 비교적 높았으며 고염분역으로 갈수록 와편모조류의 종수가 증가하였다. 월별 식물플랑크톤 현존량의 평균 값은 183~833 cells/ml의 범위로 11월에는 5~15 psu 염분역에서 *Skeletonema costatum*의 bloom이 발생하였으며 초저염분역에서 현존량의 급격한 감소는 3월에 관찰되었다. 염분이 8.1 psu 이하의 분포를 보였던 강우기인 7월에 대부분의 조사해역에서 녹조류가 우점하였다. *Chroomonas* spp.는 3월과 9월에 높게 우점하였으며 고염분역으로 갈수록 현존량이 증가하였다. 동물플랑크톤은 3회의 조사에서 총 83개의 분류군이 검색되었고, 이중 해산 분류군은 총 72개로 요각류가 34개 분류군을 차지하고 있었으며 담수 분류군은 총 11개로 수서 곤충류가 대부분을 차지하였다. 동물플랑크톤 종 조성은 해수의 유입에 의해 크게 의존하는 것으로 나타났으며 담수종이 출현하는 염분 한계는 시기적으로 달랐는데, 7월에는 8.1 psu 이하에서, 9월에는 4.7 psu 이하에서, 11월에는 0.2 psu 이하에서만 출현하였다. 하구역 염분 변화에 따른 동물플랑크톤 출현 양상의 특징은 풍수기에서 갈수기로 진행되면서 다소 변화하는 양상을 보이지만 대체로 중간 정도의 염분 구역에서 출현 종과 개체수가 감소하는 경향을 보였다.

Biomass and species composition of phytoplankton and zooplankton along the salinity gradients in the Seomjin River estuary were investigated in March, July, September and November, 1999. The locations of sampling sites were set based on the surface salinity during each cruise rather than geographic locations. A total of 96 phytoplankton species were identified with 60 diatom species in the study area. The species number of green algae was relatively high in low salinity region while the number of dinoflagellates increased in high salinity areas. Monthly mean of phytoplankton biomass ranged from 183 cells/ml to 833 cells/ml. There was a diatom bloom of *Skeletonema costatum* in November at the 5–15 psu salinity region and sharp decrease of biomass in very low salinity region occurred in March. During the rainy season in July with the salinity less than 8.1 psu, the green algae dominated in most of the study areas. *Chroomonas* spp. were highly dominant in March and September and the biomass increased towards the high salinity regions. A total of 83 zooplankton taxa were identified with 72 marine and 11 freshwater taxa. Major group of marine form was copepods with 34 taxonomic groups. Most freshwater taxa were aquatic insects. Threshold salinities of freshwater zooplankton appearance were 8.1 psu in July, 4.7 psu in September, and 0.2 psu in November. The number of taxa appeared and abundances of zooplanktons were minimal in the middle of salinity gradients in this estuary.

서 론

하구역은 육상에서 유입되는 담수와 해양의 염수가 만나는 해역으로 담수생태계와 해양생태계 사이의 전이지대로서 염분의 변

화가 심한 것이 특징이다. 특히, 온대역의 하구역에서 염분은 건기와 우기 사이에 큰 차이를 나타내고 조석변화에 따라서 주기적으로 변화한다. 염분변화를 비롯한 여러 물리·화학적 환경이 끊임없이 변화하는 하구역에 서식하고 있는 생물은 많은 환경변화에 따른 압력을 받게 된다. 이들이 계속적으로 생존해 나가기 위

*Corresponding author: kwonky@woongbi.pknu.ac.kr

해서는 이러한 환경변화에 대하여 적절히 적응할 수 있어야 한다. 일반적으로 하구역에 서식하는 생물들의 종 수는 일반 해양이나 연안역에 비해 적은 것으로 알려져 있다(Nybakken, 1997). 한편, 초저염분역에서는 담수 식물플랑크톤이 해수와 만나면 삼투압의 급격한 변화를 견디지 못하고 대소멸(mass mortality)하는 현상을 초래하기도 한다(Morris *et al.*, 1978; Filardo and Dunstan, 1985; Moon and Dunstan, 1990). 동물플랑크톤 또한, 각 종별로 생식 활동에 적합한 고유의 환경 조건을 가지며, 그 가운데 가장 중요한 것은 생물의 대사속도를 지배하는 수온과 삼투압조절에 작용하는 염분으로 여겨지고 있으며(Barlow, 1955; Lance, 1963), 하구역에서의 분포양상은 강물의 유입에 의하여 하구역에서 외만쪽으로 변화하는 염분에 크게 영향을 받게 된다(Jones *et al.*, 1990). 따라서, 하구역에는 담수와 해수가 혼합되어 광염의 기수역이 형성됨으로 해서 담수, 해수 그리고 기수에 서식하는 생물군이 혼재되어 나타나게 된다.

우리나라 하구역에서 식물플랑크톤 분포에 대한 연구는 금강, 만경·동진강, 낙동강, 그리고 한강 하구역 등에서 다수의 논문이 보고되고 있으나(Shim and Yang, 1982; Choi and Shim, 1986; 문·최, 1991; 심 등, 1991; 1993), 일부 연구만이 염분 변화에 따른 식물플랑크톤의 분포 양상에 대하여 언급하였다. 또한 이들 연구의 대부분은 이미 염분이 높아진 하구 입구와 근접한 내만에서 조사가 이루어졌거나 계절변화에 따라 풍수기와 갈수기간의 염분과 식물플랑크톤의 분포 변화를 비교하는데 국한되어 있다. 하구역과 관련된 동물플랑크톤에 대한 연구는 만경·동진강 하구역에서 염분 변화와 요각류의 군집구조와의 관계를 발표한 서 등(1991)의 연구 이외에는 전무한 실정이다. 이와같이 우리나라에서 담수와 해수가 만나는 초저염분 해역에서 하구입구까지 염분경사에 따른 동·식물플랑크톤의 종조성 및 현존량의 변화를 조사한 사례는 거의 없는 실정이다.

이번 조사해역인 섬진강 하구역은 광양만과 접하면서 휴전선 이남에서는 유일하게 하구둑이 건조되어 있지 않아 섬진강 하류 일대와 광양만이 하나의 광활한 기수 구역을 형성하며 자연상태를 유지하고 있다. 섬진강 본류에는 대도시가 인접하지 않아 과도한 생활하수 및 공장폐수의 오염원이 없으나 하구역에 인접한 대단위 공업단지 및 도시에서는 많은 폐수 및 생활 하수가 배출되고 있다. 섬진강 하구 입구와 연결된 광양만(양과 김, 1981; 심 등, 1984)과 여수해만(Moon, 1990)에서 조사된 환경특성과 식물플랑크톤 분포에 관한 소수의 연구를 제외하면 섬진강과 관련된 해역에서 동·식물플랑크톤 연구는 전무하다.

이번 연구의 목적은 하구둑이 없는 섬진강 하구역의 초저염분 해역에서부터 하구 입구까지 염분의 경사에 따라 동·식물플랑크톤의 종조성 및 현존량의 변화 양상을 파악하는데 있다.

재료 및 방법

이번 연구는 광양만과 섬진강 하류에서 식물플랑크톤의 경우 1999년 3월, 7월, 9월 및 11월 총 4회에 걸쳐, 동물플랑크톤의 경우 3월을 제외한 7월, 9월 및 11월 총 3회에 걸쳐 조사하였다(Fig. 1). 조사방법은 섬진강 하구 남동쪽에 위치해 있는 난초도에서부터 담수와 해수가 처음 만나는 지점까지 섬진강 본류를 따라

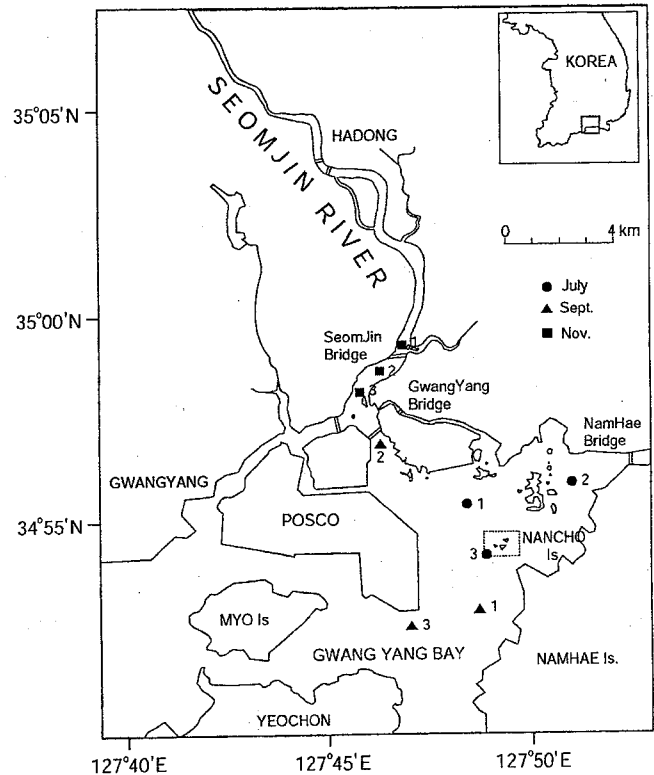


Fig. 1. Map showing the study area (The locations of all stations for surface water sample were set based on the surface salinity during each cruise. The station numbers showing at the map are the sites for comparison of surface and near bottom zooplankton community).

라가면서 조사하였으며 조사정점은 지리적 위치보다는 각 조사시마다 염분을 현장에서 측정하여 결정하였다.

수온 및 염분은 수질분석기(Horiba U-10)를 이용하여 현장에서 측정하였으며 염분 측정용 시료를 따로 채수하여 실험실에서 salinometer(Tsurumi Seiki Model T.S.E-2) 측정을 병행하였다.

식물플랑크톤의 종 조성과 개체수를 파악하기 위하여 각 정점의 표층에서 시료를 500 ml 폴리에틸렌 채수병에 취하여 Lugol용액 5 ml를 넣어 고정시킨 후 시료의 광산화를 방지하기 위하여 알루미늄 호일로 광을 차단, 암소에서 보관하여 실험실로 운반하였다. 현미경관찰은 시료를 침전관에서 48시간 이상 침전시킨 다음 상등액을 제거하여 10 ml로 농축한 다음 Sedgewick-Rafter chamber를 이용하여 100, 400배의 비율로 동정·계수하였다.

동물플랑크톤의 채집을 위해서는 망구 직경이 76 cm, 망목은 330 μ m인 원추형 네트를 사용하였으며, 이 네트를 약 2.5 knots의 속도로 약 2분간 수평 및 경사 인양하였다. 또한 정량분석을 위하여 망구에 유속계를 부착하여 여과 해수량을 측정하였다. 한편, 염분이 수직적으로 크게 변화하는 정점들을 대상으로 고염과 저염층의 동물플랑크톤 군집에 대해 살펴보기 위하여 각 조사 시기별로 세 정점에서 표층과 저층의 채집이 구분되어 이루어졌다. 표층 채집은 표층을 대상으로 네트를 수평 인양하였고, 저층 채집은 저층을 대상으로 수평 인양하였으며 참고로 두 층을 모두 포함하는 사선인양을 추가로 실시하였다. 채집된 시료는 선상에서 중성 포르말린으로 고정하였는데 포르말린의 최종 농도는 생물량에 따라

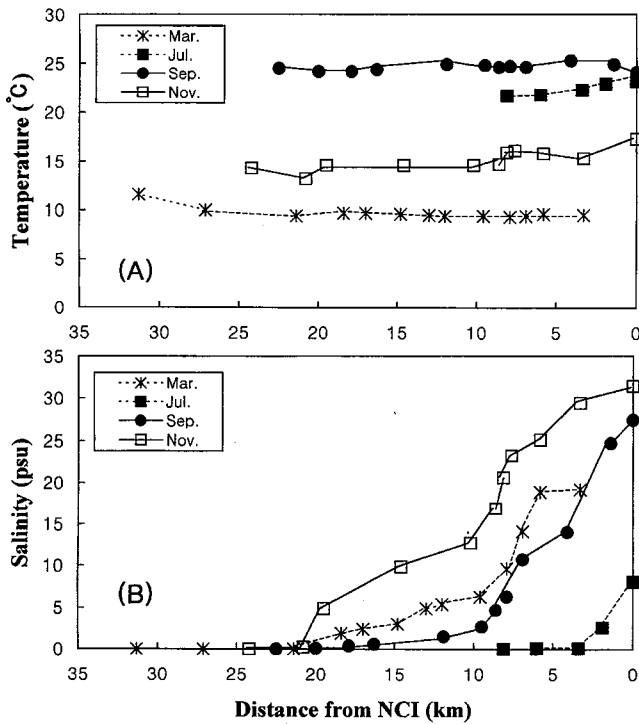


Fig. 2. Variation of temperature(A) and salinity(B) against distance from NCI (Nan Cho Island) in the surface water of Seomjin River estuary.

다소 차이가 있으나 5~8%가 되도록 하였고, 실험실로 운반된 시료는 Folsom 부차시료기를 이용하여 생물량에 따라 1/2~1/32를 취하여 Bogorov counting chamber에 넣고 해부현미경을 사용하여 가능한 가장 낮은 단계까지 분류 계수하였다. 계수된 생물량은 유량계에서 얻어진 해수 여과량으로 나누어 단위 체적 당 개체수(indiv./m³)로 환산하였다. 각 분류군별 개체수 분포를 통하여 종 다양성 지수 *H'*(Shannon-Weiner index; Shannon and Weaver, 1949)를 구하였다.

결 과

수온 및 염분

조사기간동안 평균 표층 수온은 9.7~24.6°C 범위로 1999년 3

월에 가장 낮았고 9월에 가장 높았으며 상하류간 수온차이는 7월과 9월에 비해 3월과 11월에 상대적으로 크게 나타나 3월에는 상류에서, 11월에는 하구역에서 수온이 높게 나타났다. 염분의 경우, 계절적으로는 풍수기인 7월에 가장 낮았고 갈수기인 11월에 가장 높았다(Fig. 2). 해수와 담수가 처음 만나는 지점으로 예상되는 곳은 난초도로 부터 약 8(7월)~24 km(11월)의 상류지역이었으며 난초도에서의 염분은 8.1(7월)~31.4(11월) psu의 범위로 변화하였다.

식물플랑크톤

섬진강 본류와 하구역에서 조사기간동안 동정된 식물플랑크톤은 총 55속 96종이 출현하였으며, 주요종과 속의 구성비가 Table 1에 나타나 있다. 식물플랑크톤 군집은 7개의 주요 조류군, 즉 돌말류(diatoms), 와편모조류(dinoflagellates), 녹조류(green-algae), 남조류(cyanobacteria), 은편모조류(cryptomonads), 유글레나류(euglenoids), 규편모조류(silicoflagellates)로 구성되어 있었다. 이 중 돌말류가 33속 60종(62.5%)으로 시·공간에 관계없이 높은 출현종수를 나타내었으며 와편모조류는 9속 17종, 녹조류는 8속 11종이 출현하였다. 이외에 남조류, 은편모조류, 유글레나류, 규편모조류가 각각 1~3종이 출현하였다. 조사시기별로는 3월에 40속 61종, 7월에 31속 47종, 9월에 33속 51종 그리고 11월에 32속 47종으로 나타나 3월에 가장 많은 종수가 출현하였다. 염분에 따른 식물플랑크톤 군집조성의 변화양상은(Fig. 3), 대체적으로, 녹조류는 상대적으로 염분이 낮은 지역에서 출현종수가 많았으며 와편모조류는 상대적으로 염분이 높은 지역에서 출현종수가 많았다. 이러한 종조성의 변화양상은 9월조사에서 가장 뚜렷하게 나타나고 있었다.

식물플랑크톤 현존량은 3월에 84~388(평균 228.9) cells/ml, 7월에 137~212(평균 183.0) cells/ml, 9월에 120~564(평균 285.4) cells/ml, 11월에 38~3,399(평균 833.5) cells/ml의 범위로 나타나, 11월의 현존량이 타 조사시기의 현존량에 비해 월등히 높게 나타났다. Fig. 4에 나타난 조사시기별 난초도로부터 거리에 따른 식물플랑크톤 현존량과 염분의 변화를 살펴보면, 3월의 경우, 담수역에서 매우 높았던 현존량은 해수를 처음 만나면서 급격히 감소한 후 염분 증가에 따라 현존량이 서서히 증가하였으며, 7월에는 전 조사시기중 현존량이 가장 낮았고 염분에 따른 뚜렷한 변화가 없었다. 9월에는 현존량이 초저염분역에서 증가한 후 감소하였으나 5 psu 염분역에서부터 염분이 높아질수록 현존량이 증가하였다. 11월에는 5~15 psu 염분역에서 bloom이 발생하여 11월 전체 현존량에 크게 기여하고 있었다.

Table 1. Numbers of phytoplankton genera and species occurred in the surface water of Seomjin River estuary (The percents of total species in each month are in parenthesis).

Month	Mar.		Jul.		Sep.		Nov.		Total	
Group	Genera	Species	Genera	Species	Genera	Species	Genera	Species	Genera	Species
Diatoms	26	40 (65.5)	19	32 (68.1)	15	24 (47.1)	23	35 (74.5)	33	60 (62.5)
Dinoflagellates	3	6 (9.8)	4	5 (10.6)	6	11 (21.6)	3	4 (8.5)	9	17 (17.7)
Green-algae	6	8 (13.1)	5	7 (14.9)	8	11 (21.6)	2	3 (6.4)	8	11 (11.5)
Blue-green algae	2	3 (4.8)	1	1 (2.1)	2	2 (4.0)	1	1 (2.1)	2	3 (3.1)
Cryptomonads	1	1 (1.6)	1	1 (2.1)	1	1 (2.0)	1	1 (4.2)	1	1 (1.0)
Euglenoids	1	2 (3.2)	1	1 (2.1)	1	2 (4.0)	1	2 (4.2)	1	2 (2.1)
Silico-flagellates	1	1 (1.6)					1	1 (2.1)	2	2 (2.1)
Total	40	61	31	47	33	51	32	47	55	96

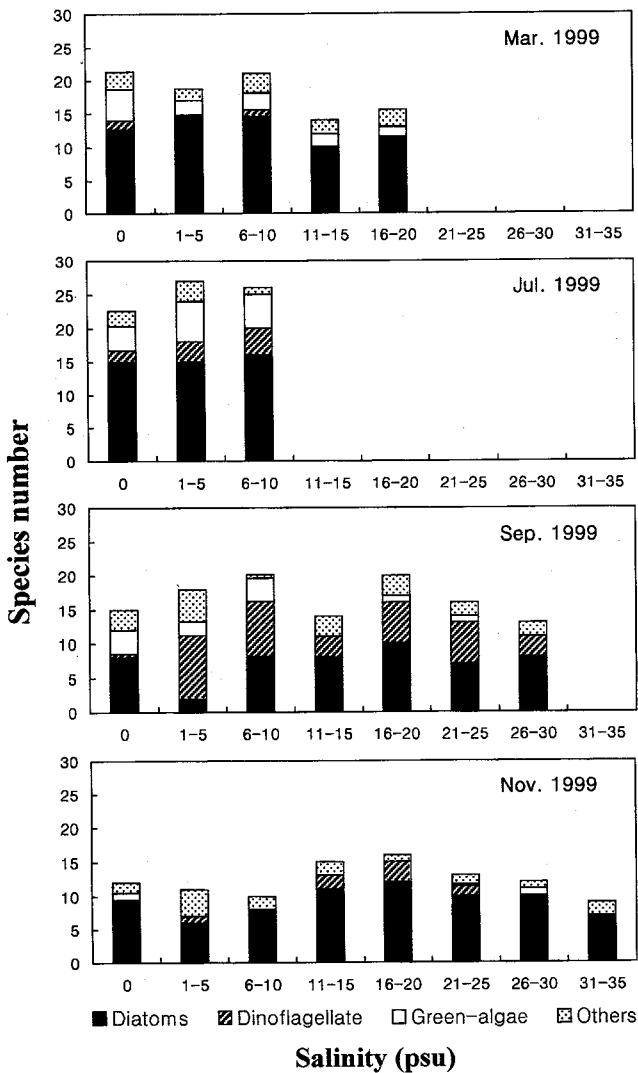


Fig. 3. Number of phytoplankton species in the surface water of Seomjin River estuary.

염분역에 따른 식물플랑크톤 각 분류군이 차지하는 우점종의 변화 양상을 살펴보면(Table 2, Fig. 5), 3월의 경우, 염분이 상대적으로 높은 지역에서는 *Chroomonas* spp.에 의해 은편모조류가 우점하고 있었으며 염분이 상대적으로 낮은 지역에서는 담수 녹조류인 *Scenedesmus incrassatulus* 및 *Ulothrix tenerrima*와 담수성 돌말류인 *Synedra affinis* 및 *Amphora* sp. 등의 담수식물플랑크톤 현존량이 높게 나타났다. 7월에는 전 조사해역에서 담수 녹조류인 *Eudorina elegans*와 담수성 돌말류인 *S. affinis*가 우점하였으며 9월에는 염분이 높은 지역에서 돌말류인 *Skeletonema costatum*이, 염분이 낮은 지역에서 담수 녹조류인 *E. elegans*가 중요종이었고 은편모조류인 *Chroomonas* spp.도 전 염분역에서 11.5~29.9%의 우점율을 나타내고 있었다. 11월에는 5~15 psu 염분역에서 *S. costatum*에 의한 돌말류의 대번식이 있었다.

동물플랑크톤

동물플랑크톤은 3회의 조사에서 총 83개의 분류군이 검색되었

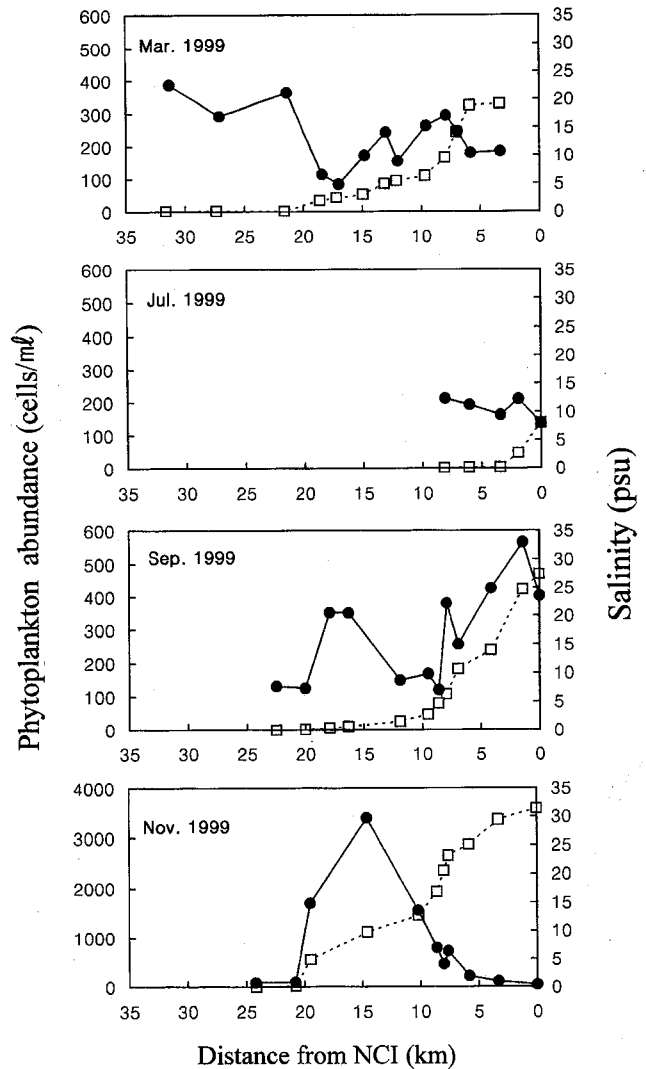


Fig. 4. Phytoplankton abundance (●) and salinity (□) against distance from NCI (Nan Cho Island) in the surface water of Seomjin River estuary.

다. 이중 해산 분류군이 총 72개로 요각류가 34개 분류군을 차지하고 있었으며 담수 분류군은 총 11개로 수서 곤충류가 대부분이었다. 시기별로는, 7월에 46개 분류군(해산 37개, 담수산 9개), 9월에는 44개 분류군(해산 43, 담수산 1), 11월에 58개 분류군(해산 56, 담수산 2)이 출현하였다(Table 3).

조사시기별로 표층 염분의 변화와 출현 분류군수의 관계를 살펴보면(Fig. 6), 7월에는 염분 증가에 따라 출현 분류군수가 다소 증가하는 양상을 보였으며 담수산 분류군들은 8.1 psu 이하에서만 출현하였다. 9월에는 27 psu 염분역에서 출현 분류군수가 다소 많았고 14.4 psu에서 9개 분류군으로 출현 분류군수가 가장 적었으며 담수산 분류군은 4.7 psu에서만 1개 분류군이 출현하였다. 11월에는 5 psu와 20 psu 염분역에서 출현 분류군수가 매우 적었고 23 psu 이상에서 출현 분류군수가 많았으며 담수산 분류군은 0.2 psu에서만 2개 분류군이 출현하였다.

동물플랑크톤의 종 다양성 지수(H')는 2.07(7월)~2.23(11월)의 범위로 풍수기에서 갈수기로 갈수록 종다양성 지수가 증가하는 양

Table 2. Variation of dominant species of phytoplankton in the study area surface water of Soemjin River estuary (The percents of the total individuals are in parenthesis).

Month	Area	Very low-salinity region (0 ~ 2 psu)	Low-salinity region (2 ~ 10 psu)	Middle-salinity region (10 ~ 20 psu)	High-salinity region (>20 psu)
Mar.		<i>Chroomonas</i> spp (16.3)	<i>Chroomonas</i> spp (31.0)	<i>Chroomonas</i> spp. (68.5)	
		<i>Scenedesmus incrassatulus</i> (15.7)	<i>Ulothrix tenerrima</i> (11.0)	<i>Ulothrix tenerrima</i> (7.5)	
		<i>Ulothrix tenerrima</i> (11.7)	<i>Synedra affinis</i> (9.9)	<i>Skeletonema costatum</i> (7.0)	
		<i>Amphora</i> sp. (10.0)			
Jul.		<i>Eudorina elegans</i> (21.7)	<i>Synedra affinis</i> (15.7)		
		<i>Synedra affinis</i> (17.9)	<i>Eudorina elegans</i> (11.3)		
		<i>Skeletonema costatum</i> (8.0)	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (8.6)		
			<i>Skeletonema costatum</i> (8.0)		
Sep.		<i>Eudorina elegans</i> (22.9)	<i>Chroomonas</i> spp (29.9)	<i>Skeletonema costatum</i> (55.9)	<i>Skeletonema costatum</i> (74.5)
		<i>Chroomonas</i> spp. (11.8)	<i>Skeletonema costatum</i> (25.1)	<i>Chroomonas</i> spp. (20.9)	<i>Chroomonas</i> spp. (11.5)
		<i>Eudorina</i> sp. (9.3)	<i>Eudorina elegans</i> (14.6)	<i>Eudorina elegans</i> (11.7)	
Nov.		<i>Chroomonas</i> spp. (12.9)	<i>Skeletonema costatum</i> (91.9)	<i>Skeletonema costatum</i> (97.4)	<i>Skeletonema costatum</i> (62.1)
		<i>Skeletonema costatum</i> (12.6)			<i>Chroomonas</i> spp. (17.6)

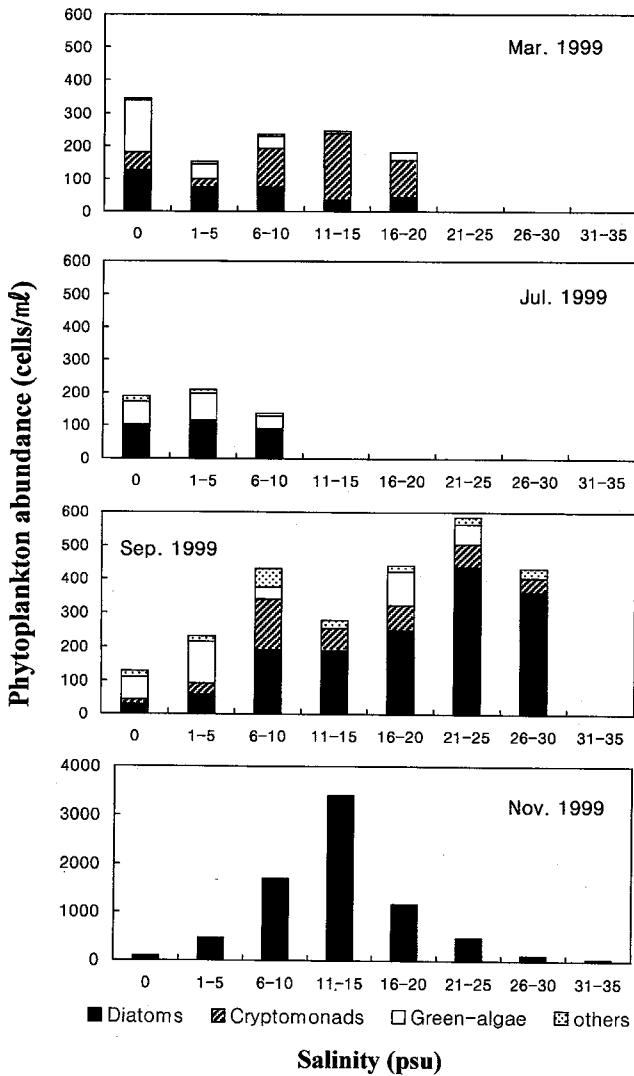


Fig. 5. Variation of phytoplankton abundance in the surface water of the Soemjin River estuary.

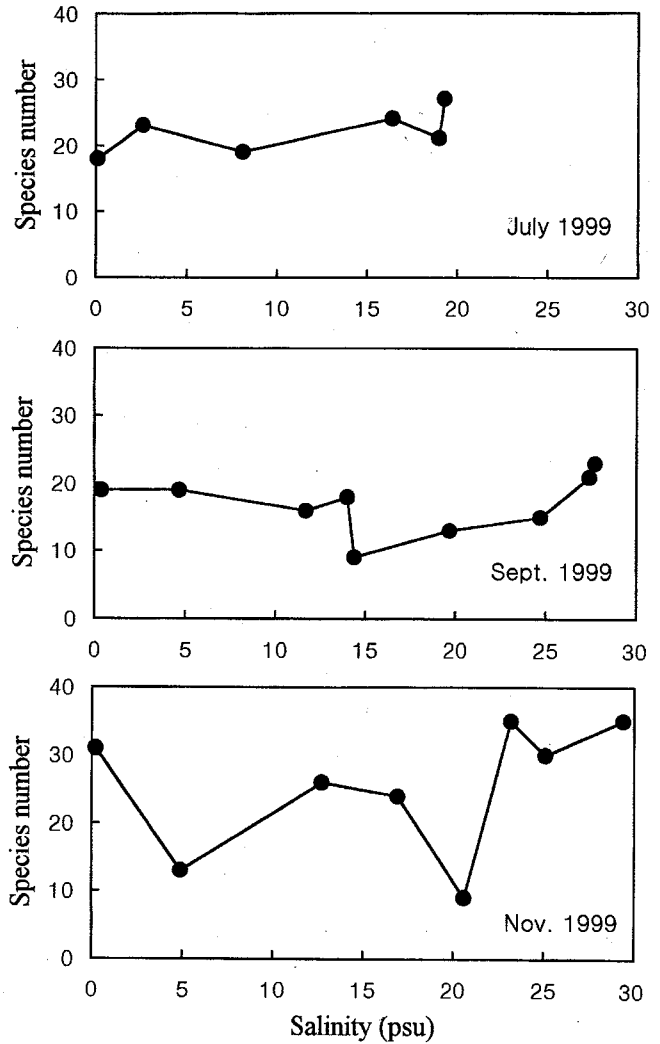


Fig. 6. Variation of zooplankton species number against salinity at the surface water of Soemjin River estuary.

Table 3. Numbers of taxa identified, abundance (indiv./m³) and dominant taxa of zooplankton in the Somjin River estuary in July, Sept. and Nov. 1999 (The numbers in parentheses represent the percent composition, in terms of indiv./m³).

	July 1999	Sept. 1999	Nov. 1999	Total
Numbers of taxa	46	44	58	83
Numbers of marine taxa	37	43	56	72
Numbers of freshwater taxa	9	1	2	11
Abundance (indiv./m ³)	261.1	68.5	47.9	125.8
Species Diversity (H')	2.07	2.13	2.23	

Dominant taxa (percent composition)	July 1999	Sept. 1999	Nov. 1999	Total
Decapoda larvae	(34.5)	Cirripedia nauplius (24.2)	Cirripedia nauplius (45.0)	Decapoda larvae (26.9)
<i>Evadne nordmanni</i>	(20.9)	Immature <i>Sagitta</i> (22.8)	Malacostraca nauplius (8.1)	<i>Evadne nordmanni</i> (14.5)
Siphonophora	(13.7)	Decapoda larvae (16.7)	Immature <i>Sagitta</i> (6.9)	Cirripedia nauplius (11.8)
Fish egg	(8.0)	<i>Tortanus forcipatus</i> (9.1)	<i>Acartia erythraea</i> (6.5)	Siphonophora (9.9)
<i>Sagitta crassa</i>	(8.0)	Unidentified eggs (7.7)	<i>Tortanus forcipatus</i> (5.8)	Fish egg (5.7)
Fish larvae	(4.4)	<i>Acartia erythraea</i> (6.6)	<i>Sagitta enflata</i> (4.7)	<i>Sagitta crassa</i> (5.6)
		<i>Sagitta enflata</i> (4.4)	<i>Sinocalanus tenellus</i> (4.0)	Immature <i>Sagitta</i> (5.0)

상이었다(Table 3).

동물플랑크톤의 출현 개체수는 7월에 17.8~902.5(평균 261.1) indiv./m³, 9월에 2.4~265.4(평균 68.5) indiv./m³, 11월에 3.6~153.8(평균 47.9) indiv./m³의 범위로 7월의 출현개체수가 매우 높게 나타났다(Table 3). 출현 개체수에 의거한 분류군의 조성을 보면, 7월에는 십각류 유생이 34.5%로 가장 높게 차지하였고 *Evadne nordmanni*와 Siphonophora가 각각 20.9%와 13.7%를 차지하였으며 요각류는 5.3%만을 차지하였다. 담수산 분류군의 조성은 0.3%로 매우 작았다. 9월에는 만각류 유생이 24.2%로 가장 높았고, 미성숙 *sagitta*와 십각류 유생이 각각 22.8%, 16.7%를 차지하였으며 요각류는 16.9%이었다. 11월에도 만각류 유생이 45.0%로 가장 높게 차지하였으며 연갑류 유생과 미성숙 *sagitta*가 각각 8.1%, 6.9%를 차지하였다. 요각류는 27.9%로 비교적 높게 나타났으며 담수산 분류군은 0.1%를 차지하였다.

염분 변화에 따른 개체수 변화를 살펴보면(Fig. 7), 7월에는 염분 19.3 psu에서 십각류 유생, Siphonophora, Fish egg, *S. crassa*, Fish larvae 등의 다량출현으로 인해 개체수가 902.5 indiv./m³로 월등히 높았으며 염분이 증가하면서 개체수도 증가하였다. 담수산 분류군은 0.1 psu에서 많이 출현하였으나 개체수는 매우 적게 출현하였다. 9월에는 24.7 psu에서 개체수가 가장 많았으며 5~10 psu 염분역에서 개체수가 낮게 나타났다. 우점종 중 *Acartia erythraea*는 저염에서 높게 출현하였고, 반대로 미동정된 알(eggs)은 고염에서 높게 출현하였다. 11월에는 타계절과는 달리 0.2 psu 지역에서 개체수가 가장 많았으며 20.6 psu에서 개체수가 가장 적었다.

조성율이 1% 이상인 동물플랑크톤 분류군을 대상으로 정점별 출현량에 따라 종간의 유사도를 계산하여 수상으로 무리지어 나누었다(Fig. 8). 7월에는 유사도 거리 0.9 수준에서 두 그룹으로 나뉘어져(Fig. 8(A)), 그룹 A는 상대적으로 저염분 지역에서 많은 출현량을 보인 *Acartia pacifica*와 *Evadne nordmanni*로, 그룹 B는 염분이 높은 수역에서 많은 출현을 보인 분류군들로 대표되었다. 특히, Fish egg, Siphonophora, Hydrozoa, *S. crassa* 등은 염분 8.1 psu 미만에서는 전혀 출현하지 않았다.

9월에도 유사도 거리 0.9 내외에서 세 그룹으로 나누어졌는데(Fig. 8(B)), 그룹 A는 비교적 높은 염분에서 가장 많은 출현량을 보인 분류군들로 이루어져 있으며 그룹 B는 염분이 가장 높은 수

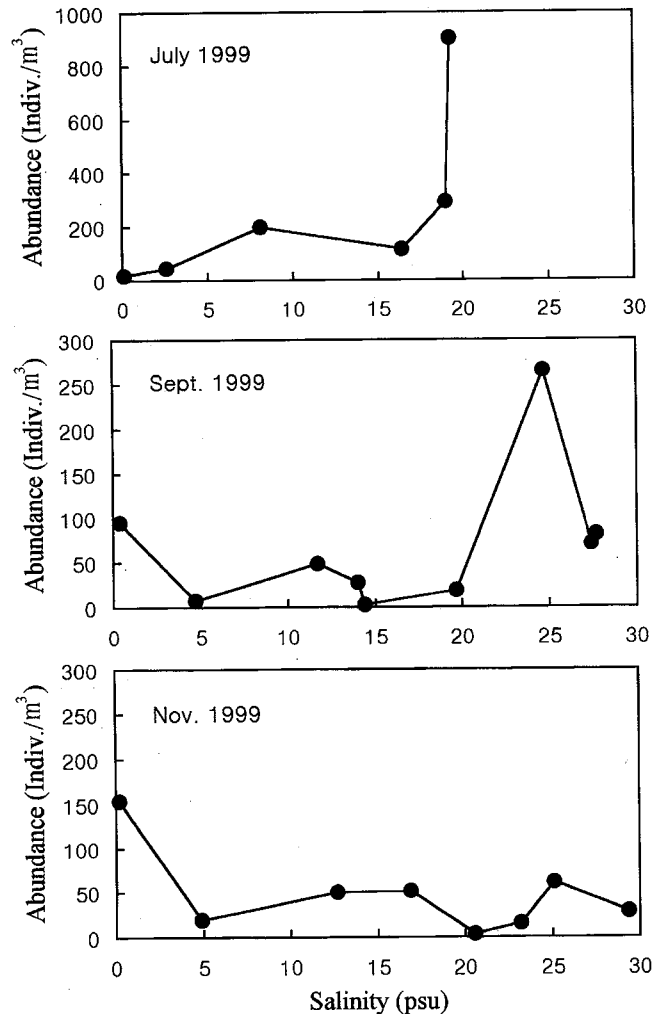


Fig. 7. Averaged abundances (indiv./m³) of zooplankton at the surface water of Seomjin River estuary.

역에서 가장 많은 출현량을 보인 분류군들로 이루어져 있었다. 그룹 C는 초저염분인 0.4 psu에서 가장 많은 출현량을 보인 *Acartia erythraea*의 단일종으로 대표되었다.

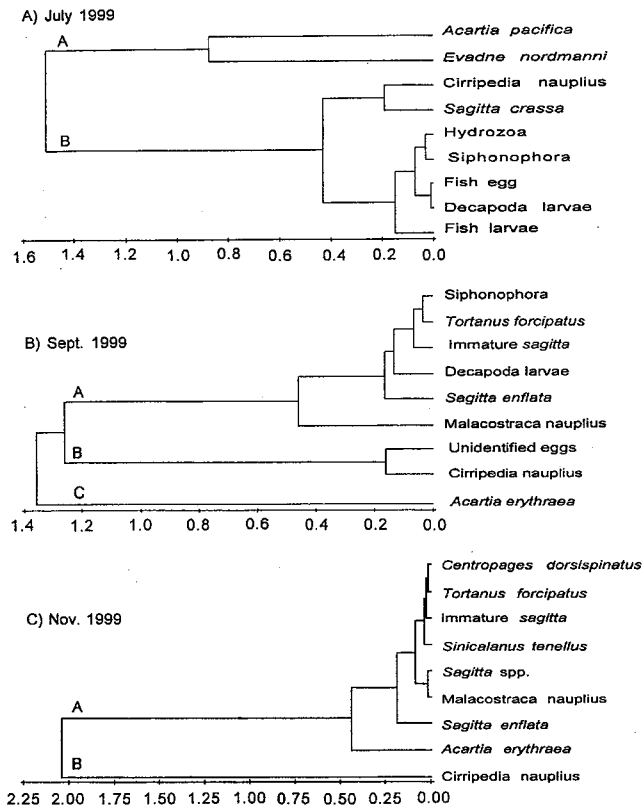


Fig. 8. Dendrogram showing the degree of co-occurrence among the major taxa of zooplankton obtained by the cluster analysis with correlation coefficients of abundances in the Seomjin River estuary.

11월에는 다시 두 그룹으로 나누어졌는데(Fig. 8(C)), 그룹 A는 저염 수역에서 많은 출현을 보인 분류군들로 구성되어 있으며 그룹 B는 5~25 psu 염분역에서 많은 출현을 보인 *Cirripedia nauplius*로 구성되었다.

염분의 수직차이가 상대적으로 큰 정점들을 대상으로 표층과 저층의 동물플랑크톤 군집을 Table 4, 5, 6에서 비교하였다. 11월의 두 개 정점을 제외하면 저염의 표층보다 고염의 저층에서 출현 분류군수가 높게 나타났으며 출현 개체수에서도 저염의 표층보다 고염의 저층에서 개체수가 월등히 높게 나타났다. 표층과 저층의 동물플랑크톤 우점양상은 상대적으로 저염인 표층에서는 최고 우점종의 우점비율이 매우 높고 상대적으로 고염인 저층에서는 최고 우점종의 우점비율이 표층에 비해 낮은 양상을 보이고 있었다. 이는 표저층간의 종 다양성지수에서도 볼수 있어, 대체적으로 저염인 표층에서는 종다양성지수가 평균 0.90~1.70으로 낮고 고염인 저층에서는 종다양성지수가 1.43~1.93으로 다소 높았다.

고 찰

조사해역 표층의 염분 변화는 장마기간을 전후로 강우의 영향을 받아 7월과 9월은 낮은 염분분포를 나타내었고, 3월과 11월은 비교적 높은 염분 분포를 보였다. 동계동안의 장기간 갈수기 이후의 3월 염분이 다소 낮게 분포한 것은 조사 전날 상당량의 강우가 있었기 때문이며 7월의 매우 낮은 염분은 장마기간에 많은 양

의 담수가 광양만으로 유입되었기 때문으로 사료된다. 갈수기에 담수와 해수가 처음 만나는 지점은 하동읍 바로 위 상류인 것으로 판단되며, 섬진강 하구 입구까지는 염분농도가 서서히 높아지다가 이후 광양만의 고염수와 혼합되어 급격하게 증가한 것으로 사료된다. 그러나 7월에는 대량의 담수유입으로 광양만 전체가 기수구역으로 되어 있었다.

본 조사에서 동정된 식물플랑크톤은 55속 96종으로, 연구해역 범위와 조사시기가 차이가 나고 그 동안의 지형변화(광양제철 매립지)를 고려할 때 정확한 비교는 하기 어려우나 심 등(1984)이 광양만 전역에서 조사한 결과인 67속 211종과 비교해 보면, 비교적 낮은 출현종수를 나타내었다. 심 등(1984)의 결과에 비해 본 조사에서는 돌말류, 외편모조류의 출현종수가 상대적으로 적었으며, 반대로 녹조류의 출현종수는 많았던 것으로 나타났다. 이는 심 등(1984)의 연구가 섬진강 하구 아래쪽의 염분이 비교적 높은 광양만 전역에서 이루어진 반면 본 연구는 초저염분해역에서 하구입구까지 조사되어졌기 때문에 종조성의 차이가 나타난 것으로 사료된다. 현존량의 경우, 본 조사에서는 38~3,399 cells/ml의 범위로 나타났는데 이는 광양만(심 등, 1984)의 105~2,849 cells/ml와 여수해만(Moon, 1990)의 49~824 cells/ml와는 다소 차이를 보이고 있으며 11월에 *Skeletonema costatum*의 bloom이 일어난 5~15 psu 염분역을 제외하면 전 조사기간 동안 500 cells/ml로 비교적 낮았다.

본 조사에서 식물플랑크톤은 저염분역에서 담수 돌말류와 녹조류의 출현종수가 많았고 고염분역에서는 외편모조류의 출현종수가 상대적으로 많았으며 계절적으로도 풍수기에 많은 양의 담수 배출에 의해서 담수 녹조류의 구성비율이 증가하였다. 또한 식물플랑크톤 현존량에 있어서도, 저염분역에서는 *Synedra affinis* 등의 담수 돌말류와 *Scenedesmus*속 및 *Eudorina*속등의 녹조류가, 상대적으로 고염분역에서는 은편모조류인 *Chroomonas* spp.와 돌말류인 *Skeletonema costatum*이 전체 현존량에 높은 기여를 하고 있었으며, 계절적으로 갈수기보다 풍수기에 담수 녹조류가 높은 기여를 하고 있어 식물플랑크톤 종조성 및 현존량이 염분변화에 많은 영향을 받았던 것으로 판단된다.

그러나 홍수기인 7월에 전 조사정점에서 현존량이 낮았고 11월에 5~15 psu의 염분역에서 bloom이 발생하였던 점은 염분의 다른 환경요인에 의해서도 식물플랑크톤의 현존량이 변화되었던 것으로 사료된다. 일반적으로, 식물플랑크톤이 광합성을 하는데 있어서 하구역과 같이 영양염이 풍부한 경우 빛에너지의 효용성이 식물플랑크톤의 성장을 결정하는 가장 중요한 요인이며(Pennock, 1985) 담수 배출과 조석작용에 의해 부유입자물질이 시공간적으로 크게 변화하는 하구역에서는 탁도에 의한 빛 제한이 식물플랑크톤의 현존량 분포를 조절한다고 알려져있다(기와 김, 1987). 본 조사에서 홍수기인 7월의 낮은 현존량은 강물의 대량방출로 많은 부유입자물질이 유입되어 탁도 증가에 기인한 것으로 사료된다. 심 등(1991)은 만경·동진강 하구의 환경특성과 식물플랑크톤 군집연구에서 식물플랑크톤의 현존량이 투명도와 밀접한 관련이 있다고 보고한 바 있다. 또한, 섬진강 하구의 5~15 psu 염분역에서 11월에 *Skeletonema costatum*의 bloom이 일어난 현상은 식물플랑크톤의 현존량이 7월에 최대였던 낙동강 하구역(조·허, 1988; 문·최, 1991), 5월에 최대였던 만경·동진강하구역(심 등, 1991),

Table 6. Comparison of surface and near bottom zooplankton community in the Seomjin River estuary in Nov. 1999.

Water depth	Station 1		Station 2		Station 3	
	11 m	11.5 m	11.5 m	7.5 m	7.5 m	7.5 m
Target depth and type of sampling	Surface and horizontal tow	Near bottom (5 m) and horizontal tow	Surface and horizontal tow	Near bottom (5 m) and horizontal tow	Surface and horizontal tow	Near bottom (4 m) and horizontal tow
Salinity (psu)	12.7	21.3 (at 4 m)	16.9	23.5 (at 5 m)	20.6	27.1 (at 5 m)
No. of taxa	25	20	24	21	9	24
Total abundance (indiv./m ³)	49.9	167.3	51.6	309.0	3.6	55.5
Species diversity (H')	0.64	1.23	0.89	1.31	1.16	1.75
Dominant taxa (percent composition)	Cirripedia nauplius (87.4) Acartia erythraea (5.9)	Acartia erythraea (69.7) Tortanus dextrilobatus (11.3)	Cirripedia nauplius (78.8) Acartia erythraea (12.1)	Cirripedia nauplius (60.1) Acartia erythraea (23.7) Sagitta enflata (5.2)	Acartia erythraea (54.9) Cirripedia nauplius (33.0) Sagitta enflata (4.7)	Cirripedia nauplius (39.2) Noctiluca scintillans (25.9) Acartia erythraea (14.6) Sagitta enflata (9.7)

층계에 최대였던 광양만(심 등, 1984), 그리고 초저염분 지역에서는 하계에, 하구에서는 춘계에 bloom이 일어나는 James 강(Moon and Dunstan, 1990)과는 다른 양상을 보여주고 있다. 수온이 점차 낮아지고 풍수기 이후 영양염의 대량공급이 없을 것으로 예상되는 11월에 특정 염분역에서 bloom이 발생한 것은 앞서 언급한 탁도에 의한 빛조건이외에 다른 어떤 기작이 bloom 형성에 기여한 것으로 판단되며 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다. Cloern *et al.*(1983)과 Moon and Dunstan(1990)은 Northern San Francisco Bay 하구와 James강 하구의 초저염분역에서 갈수기 동안 각각 연안성 돌말류인 *S. costatum*과 담수돌말류인 *Melosira* sp.가 우점하는 bloom이 발생하였다고 하였으며 이 bloom은 담수 유입이 적을 때 하구의 물리적 순환(estuarine circulation)과 연관되어 돌말류의 침강율과 초저염분해역에서 저층수의 상승유속이 균형을 이룰 때 발생되어진다고 보고하였다.

본 조사에서 미소플랑크톤(< 20 μm)에 속하는 *Chroomonas* spp.는 3월 및 9월에 염분이 상대적으로 높은 중·하부역에서 현존량이 매우 높게 나타났다. 심 등(1984)도 *Chroomonas* spp.가 광양만에서 1년내내 우점종으로 출현한다고 보고한바 있다. Sin *et al.*(2000)은 York강 하구에서 염분경사에 따라 각기 다른 크기의 식물플랑크톤들이 번갈아 가며 우점하는 현상을 관찰하였으며, 그 원인으로 영양염 선호 및 빛 요구정도의 차이에 의해 결정되어진다고 보고하였다. 본 연구에서 7월 및 11월을 제외한 시기에 주요 우점종으로서 꾸준히 출현하였던 결과는 Sin *et al.*(2000)이 제시하였던 하구역에서의 식물플랑크톤 크기 구조의 변화에 대한 해석과 관련될 수 있다고 사료된다. Sin *et al.*(2000) 이외에도 하구역에서 미소플랑크톤이 주요 우점종으로 나타난다고 보고한 사례는 다수이며(Revelante and Gilmartin, 1978; Jackson *et al.*, 1987), 심 등(1991)도 담수의 영향을 크게 받는 만경·동진강하구역에서 미소플랑크톤이 차지하는 기여도가 42.4~97.6%로 매우 높다고 보고한 바 있다.

한편, 담수와 해수가 처음 만나는 초저염분역에서 식물플랑크톤의 급격한 감소는 3월 조사시기에 가장 뚜렷하게 나타나, 담수역에서 높은 현존량을 나타내었던 담수 녹조류가 해수와 처음 만나는 초저염분역에서 현존량이 급격하게 감소하는 경향을 보여주

었다. 이는 담수성 식물플랑크톤이 해수와 처음 만나면서 염분에 적응하지 못한 결과라고 판단되나 보다 세밀한 조사가 필요하다 고 사료된다. Morris *et al.*(1978)은 Tamar 강하구에서 식물플랑크톤의 대량 폐사로 인하여 용존산소의 급격한 감소가 있었다고 보고하였으며, 이러한 대량 폐사의 원인으로 담수식물플랑크톤이 해수를 만났을때의 급격한 삼투압 변화(Filardo and Dunstan, 1985), 식물플랑크톤과 부유입자물질의 응집으로 인한 빠른 침강(Edzwald *et al.*, 1974; Avnimelech *et al.*, 1982), 그리고 저염분역에서 높은 농도의 부유입자물질로 인한 빛 투과율의 제한(Sharp *et al.*, 1982; Pennock, 1983) 등이 보고되고 있다. 이 대량폐사는 하구 하부역의 환경을 악화시킬 가능성이 있는 것으로 알려져 있다(Zwolsman, 1994). 기와 김(1987) 또한 금강하구역의 초저염분역에서 염류소 a 농도의 급격한 감소를 보고한 바 있다.

동물플랑크톤의 경우는 총 83개 분류군이 검색되었으나 인근해역을 대상으로 한 연구가 미비한 관계로 출현 분류군에 대한 비교는 어려웠다. 그러나, 하구 입구에서 바다쪽으로 치우친 심과 노(1982)의 출현 분류군 수인 62개 분류군보다는 많았고, 만경강과 동진강 하구역에서 연구된 서 등(1991)의 46개 분류군보다도 많았다. 이는 이들 연구에서는 담수 분류군이 포함되지 않았기 때문으로 여겨지며, 본 조사에서 검색된 11개 담수 분류군을 제외하면 심과 노(1982)의 경우와 비슷한 것으로 나타났다. 일부 연구에서는 요각류만을 대상으로 하였고, 염분 변화가 크지 않은 해역을 대상으로 하였기 때문에 본 연구결과와의 비교가 어려웠다. 다만, Yoo and Lim(1991)의 한강 하류계를 대상으로 한 연구에서는 담수산 지각류가 가장 많이 검색되었고, 그 다음으로는 담수산 요각류 그리고 윤충류 등이었으나 본 연구에서는 수서곤충(곤충 유생 포함)이 가장 많이 검색되었고, 그 다음으로는 담수산 요각류 순이었다는 점에서 차이를 보이고 있다. 본 조사에서 검색된 11개 담수 분류군은 대부분 풍수기인 7월 조사에서 나타났고, 3개 분류군만이 9월과 11월 조사에서 검색되었다. 그러나 동물플랑크톤의 전체 분류군수는 풍수기인 7월에서 갈수기인 11월로 진행되면서 증가하였는데 이는 풍수기에 많이 출현한 담수산 분류군이 갈수기에 접어들면서 급격히 줄어들고, 해산 요각류 분류군의 수가 많이 증가하였기 때문이다.

조사대상 지역인 섬진강 하구역의 동물플랑크톤 종조성은 해수의 유입에 의해 크게 의존되는 것으로 나타났으며 담수종은 그 종류나 수에서 초저염지역을 제외하고는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 여겨졌다. 하구역 염분변화에 따른 동물플랑크톤 출현양상의 특징은 풍수기에서 갈수기로 진행되면서 다소 변화하는 양상을 보이지만 대체로 중간 정도의 염분지역에서 출현종과 개체수가 감소하는 경향을 보였다.

감사의 글

이 연구는 1998년도 학술진흥재단의 학술연구비(과제번호 1998-015-H00003) 지원에 의해 수행되었습니다. 시료채취와 현미경 관찰에 도움을 준 부경대 식물부유생물학 연구실 학생들에게 감사드리며 논문을 세심하게 심사해주신 두분의 심사위원께 감사드립니다.

참고문헌

- 기준학, 김경렬, 1987. 금강하구에서의 화학적, 생물학적 제과정에 관한 연구, II. Chlorophyll a 분포결정 요인에 관하여. 한국해양학회지, **22**: 207-215.
- 문창호, 최혜지, 1991. 낙동강 하구 환경특성 및 식물플랑크톤의 군집구조에 관한 연구. 한국해양학회지, **26**: 144-154.
- 서해립, 서호영, 차성식, 1991. 만경 동진강 하구계의 동물플랑크톤의 분포와 염분. 한국해양학회지, **26**: 181-192.
- 심재형, 노일, 1982. 여수 근해산 동물플랑크톤의 종조성과 양적 분포. 서울대학교 자연과학연구 논문집, **7**: 165-183.
- 심재형, 신윤근, 여환구, 1991. 만경, 동진강 하구 표영생태계의 무생물 환경과 일차생산자: I. 환경 특성과 식물플랑크톤의 군집구조. 한국해양학회지, **26**: 155-168.
- 심재형, 신윤근, 조병철, 1993. 만경·동진강 하구에서의 박테리아 및 식물플랑크톤의 역할과 상호 관계. 한국해양학회지, **28**: 107-113.
- 심재형, 신윤근, 이원호, 1984. 광양만 식물플랑크톤 분포에 관한 연구. 한국해양학회지, **10**: 172-186.
- 양한춘, 김용환, 1981. 광양만 부유생물의 조성 및 양의 계절적 변화. 여수수전논문집, **15**: 35-45.
- 조창환, 허성희, 1988. 낙동강 하구 근해의 식물플랑크톤 군집구조와 분포. 해양연구, **10**: 39-45.
- Avnimelech, Y., B.W. Troeger and L.W. Reed, 1982. Mutual flocculation of algae and clay. Evidence and implication. *Science*, **216**: 63-65.
- Barlow, J.P., 1955. Physical and biological processes determining the distribution of zooplankton in a tidal estuary. *Biol. Bull.*, **109**: 211-225.
- Choi, J.K. and J.H. Shim, 1986. The ecological study of phytoplankton in Kyeonggi Bay, Yellow Sea. III. Phytoplankton composition, standing crops, tychoplagic plankton. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **21**: 156-170.
- Cloern, J.E., A.E. Alpine, B.E. Cole, R.L.J. Wong, J.W. Wong, J.F. Arthur and M.D. Ball, 1983. River discharge controls phytoplankton dynamics in the Northern San Francisco Bay. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **16**: 415-419.
- Edzwald, J.K., J.B. Upchurch and C.R. O'Melia, 1974. Coagulation in estuaries. *Environ. Sci. Tech.*, **8**: 58-63.
- Filardo, M.J. and W.M. Dunstan, 1985. Hydrodynamic control of phytoplankton in low salinity waters of the James River estuary, Virginia, U.S.A. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **21**: 653-667.
- Jackson, R.H., R.J. Le, B. Williams and I.R. Joint, 1987. Freshwater phytoplankton in the low salinity region of the River Tamar estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **25**: 299-311.
- Jones, K.K., C.A. Simenstad, D.L. Higley and D.L. Bottom, 1990. Community structure, distribution and standing stock of benthos, epibenthos and plankton in the Columbia River estuary. *Prog. Oceanogr.*, **25**: 211-241.
- Lance, J., 1963. The salinity tolerance of some estuarine planktonic copepods. *Limnol. Oceanogr.*, **8**: 440-449.
- Moon, C.H. 1990. Studies on the phytoplankton and nutrients in the Yeosu Heman. *Bull. Korean Fish. Soc.* **22**: 408-414.
- Moon, C.H. and W.M. Dunstan, 1990. Hydrodynamic trapping in the formation of chlorophyll a peak in turbid, very low salinity waters of estuaries. *J. Plankton Res.*, **12**: 323-336.
- Morris, A.W., R.F.C. Montoura, A.J. Bale and R.J.M. Howland, 1978. Very low salinity regions of estuaries: important sites for chemical and biological reactions. *Nature*, **274**: 678-680.
- Nybakken, J.W., 1997. Marine biology: An ecological approach. Wesley Educational Publishers Inc., p. 304-308.
- Pennock, J.R., 1983. Regulation of chlorophyll distribution in the Delaware estuary by short term variability in vertical stratification and suspended sediment concentration. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, **64**: 1401
- Pennock, J.R., 1985. Chlorophyll distributions in the Delaware estuary: regulation by light-limitation. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **21**: 711-725.
- Revelante, N. and M. Gilmartin, 1978. Characteristics of the microplankton and nanoplankton communities of an Australian Coastal Plain estuary. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, **29**: 9-18.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1949. The mathematical theory of communication. Urbana, Univ. Illinois Press, 117 pp.
- Sharp, H.H., C.H. Culbertson and T.M. Church, 1982. The chemistry of the Delaware estuary. General consideration. *Limnol. Oceanogr.*, **27**: 1015-1028.
- Shim, J.H. and J.S. Yang, 1982. The community structure and distribution of phytoplankton of the Keum River estuary. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **17**: 1-11.
- Sin, Y., R.L. Wetzel and I.C. Anderson, 2000. Seasonal variations of size fractionated phytoplankton along the salinity gradient in the York River estuary, Virginia (USA). *J. Plankton Res.*, **22**: 1945-1960.
- Yoo, K.I. and B.J. Lim, 1991. Seasonal variation in the zooplankton community structure of the Lower Han River System. *Kor. J. Limn.*, **24**: 85-91.
- Zwolsman, J.J.G., 1994. Seasonal variability and biogeochemistry of phyosphorus in the Scheldt estuary, south-west Netherlands. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **39**: 227-248.

2001년 1월 2일 원고접수

2001년 3월 12일 수정본 채택

담당편집위원: 이상훈