

계절과 염분 변화에 따른 섬진강 하구역 동물플랑크톤의 분포 변화

박 철 · 이평강 · 양성렬*
충남대학교 해양학과, *광주대학교 토목환경공학부

Variation of Zooplankton Distribution in the Seomjin River Estuary with Respect to Season and Salinity Gradients

CHUL PARK, PYUNG GANG LEE AND SUNG RYULL YANG*
Department of Oceanography, Chungnam National University,
*Division of Civil and Environmental Engineering, Kwangju University

섬진강 하구역에서 염분 경사에 따른 동물플랑크톤의 종 조성과 양적 분포를 계절별로 조사하였다. 하구역이라 하나 전 계절 연안역에서 흔히 볼 수 있는 종들이 주를 이루고 있었으며, 전 계절 담수 유래종은 매우 미약하였다. 평균 총량으로 봄에 3,000 개체/m³ 이상의 많은 개체수가 분포하며 여름에 다소 감소하나 여전히 많은 개체수 분포를 보이고 가을에 약 500 개체/m³ 수준으로 감소하였다가 겨울부터 증가하는 계절적 변동을 보였다. 염분 범위에 따라 저염분역(염분 5 psu 이하), 중염분역(5~18 psu), 고염분역(18 psu 이상)으로 나누어 살펴보면, 계절의 진행에 따라 가장 많은 양의 동물플랑크톤이 출현하는 염분역이 일정하게 유지되지 않고 있으며, 종 조성에서도 계절별 지역별로 차이를 보였다. 가을철에는 요각류가 저염분역에서 우세하나 고염분역으로 가면서 갑각류 이외의 종들이 우세하였고, 겨울철에는 전 지역에서 요각류가 우세하였다. 봄철에는 대상 해역이 중염분역과 고염분역으로만 구분되었는데, 중염분역에서는 요각류, 고염분역에서는 야광충이 우점하였다. 여름철에는 저염분역에서는 요각류가, 중염분역과 고염분역에서는 야광충이 더 많았다. 요각류 군집만을 대상으로 염분 구역별 주요 우점 종을 열거하였고, 이들의 출현 수온, 염분 범위와 가장 많은 출현량을 보인 지역의 수온 염분을 제시하였다. 이들 요각류의 염분 내성 범위는 매우 광범위하게 나타나 지시종의 개념이 요각류에 있어서는 출현 유무라는 정성적인 개념보다는 양의 많고 적음이라는 정량적인 개념에서 사용되어야 할 것으로 여겨졌다.

The seasonal variation in species composition and abundance distribution of zooplankton was studied in the Seomjin river estuary along the salinity gradients. In this estuary, marine taxa predominated in all seasons and very limited number of freshwater species appeared. The total abundances showed a seasonal fluctuation. The highest total abundance appeared in spring with over 3,000 individuals/m³. In summer, the high abundance was sustained although it decreased a little. The abundance was minimal in fall with about 500 individuals/m³. When the study area was divided into three salinity regimes, oligohaline (salinity less than 5 psu), mesohaline (5~18 psu), and polyhaline zone (over 18 psu), the zone of high abundance as well as the composition of zooplankton community in each salinity regime changed seasonally. In fall, marine copepods predominated in oligohaline zone while marine species other than crustaceans dominated in polyhaline zone. However, in winter copepods predominated in all area. In spring and summer, holozoic dinoflagellate *Noctiluca scintillans* dominated in higher salinity regimes. We listed major copepod species of each salinity regime for each season with the ranges of water temperatures (T) and salinities (S) of their occurrence. T, S's of maximum abundances of those major copepod species were also reported. The observed very wide tolerance ranges of major copepod species for salinity suggested that the concept of 'indicator species' should be used in quantitative context rather than qualitative.

Key words: Estuarine zooplankton, Seomjin river

*Corresponding author: chulpark@cnu.ac.kr

서 론

하구역은 담수와 해수가 혼합되는 지역으로, 다른 어떤 환경 요인보다도 염분의 변화가 심한 곳이다. 생물은 삼투 조절이라는 면에서 염분의 변화에 민감할 수밖에 없으며, 수서 생물의 경우 이동 능력이 있다면 적정한 염분 범위를 찾아 서식지를 선택할 수 있다. 그러나, 동물플랑크톤은 이동 능력이 매우 작기 때문에 그 분포가 서식지의 염분 변화에 따라 좌우될 것으로 여겨진다(Gunter, 1961; Jones *et al.*, 1990). 따라서, 하구역과 같이 염분의 변화가 큰 수서 환경에서는 동물플랑크톤의 염분 내성이 중요하다. 염분이 수시로 변화할 것이며, 만일 종 조성이 어떤 양상을 유지하면서 크게 변화하지 않는다면 구성 종들의 염분 내성이 매우 클 것으로 예측된다.

우리 나라 대부분의 주요 강 하구에는 둑이 건설되어, 자연적 염분 구배를 갖는 하구생태계가 형성되어 있지 않다. 그러나, 섬진강에는 이러한 하구 둑이 건설되지 않아 해수와 담수가 자연스럽게 혼합되며, 계절에 따른 담수 유입량의 변화로 염분의 변화가

상대적으로 크다. 이러한 섬진강 하구역에서 권 등(2001)은 1999년 7, 9, 11월의 3회 현장 채집을 통하여 동물플랑크톤의 종 조성을 조사한 바 있다. 이들은 비교적 강수량이 많았던 시기(7월, 9월)와 직후(11월)의 시기에 조사하여 결과적으로 해산 종의 출현이 매우 미약하였다. 섬진강 하구역의 경우는 강수량이 여름철에 집중되고, 조석의 강도도 크지 않아, 유입된 담수는 바로 해수와 혼합되어 잔류 시간이 매우 짧다. 본 연구에서는 권 등(2001)의 조사 방법과 같은 방법으로, 그러나 조사 시기를 강수량의 영향을 덜 받으며 계절 변화를 보다 잘 대변할 수 있게 조정하여, 이 지역의 동물플랑크톤의 계절적 변화 양상을 파악하고, 과거의 조사 결과와 어떤 차이가 있는지를 살펴보고, 이곳에 서식하는 주요 요각류의 염분 변화에 따른 분포의 차이를 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

동물플랑크톤 채집은 망구 직경 76 cm, 망목 330 μ m인 원추형 네트를 사용하여 채집하였다. [망목의 크기가 330 μ m란 점에서

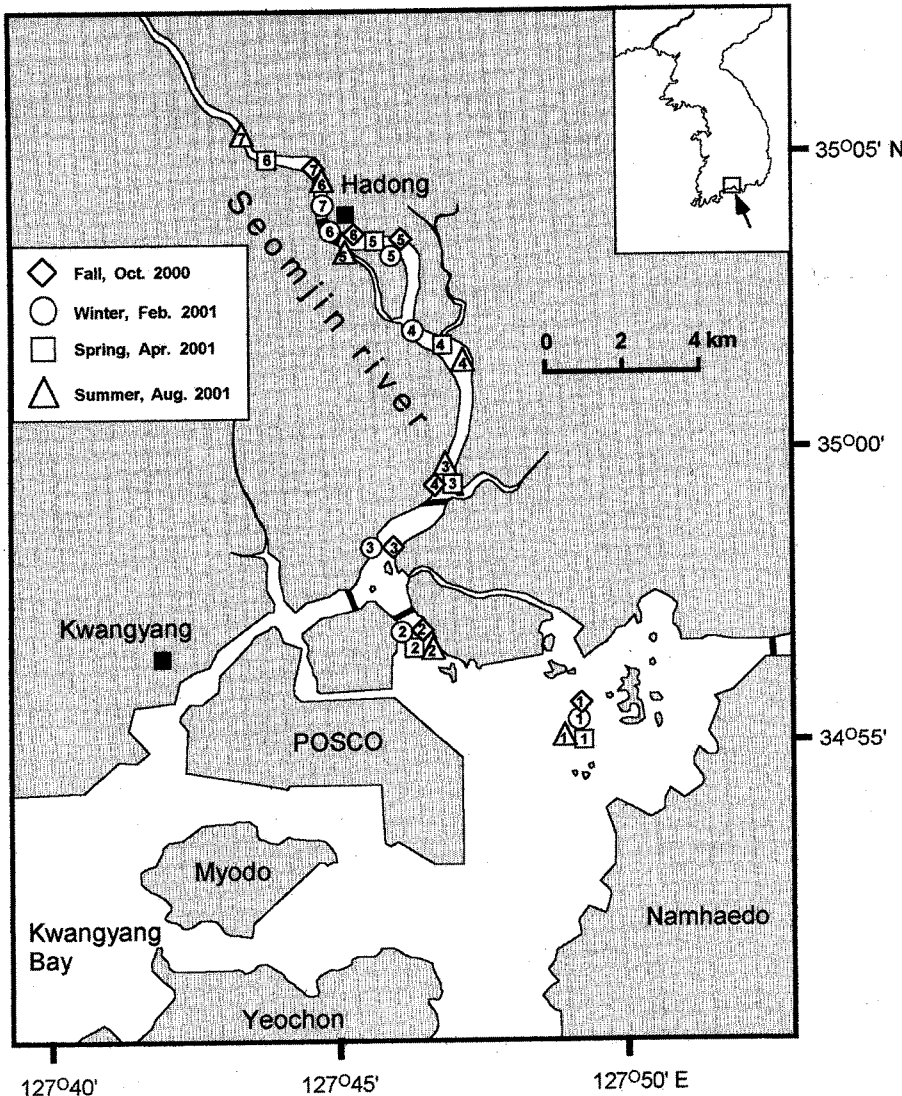


Fig. 1. Map showing the sampling sites of the study area.

Dussart(1965)의 분류체계에 따라 동물플랑크톤이란 명칭보다는 '대형동물플랑크톤'(macrozooplankton)이란 용어를 사용함이 타당하다는 의견도 있으나 관례상 본 논문에서는 동물플랑크톤으로 칭함.] 네트의 인양 속도는 약 2.5 knots, 인양 시간은 약 2분, 인양 방법은 수평 또는 사선 인양이었다.

하구의 입구에서부터 섬진강 상류 쪽으로 이동하면서 수질분석기(Horiba U-10)를 사용하여 수온과 염분을 측정하였고, 정점의 선택은 지리적으로 고정하지 않고 정점간 염분차이가 약 5 psu 되도록 하였으며, 이러한 의미에서 조석 조건은 고려하지 않았다(Fig. 1). 수직적으로 염분이 크게 변화하는 정점에서는 표층과 저층을

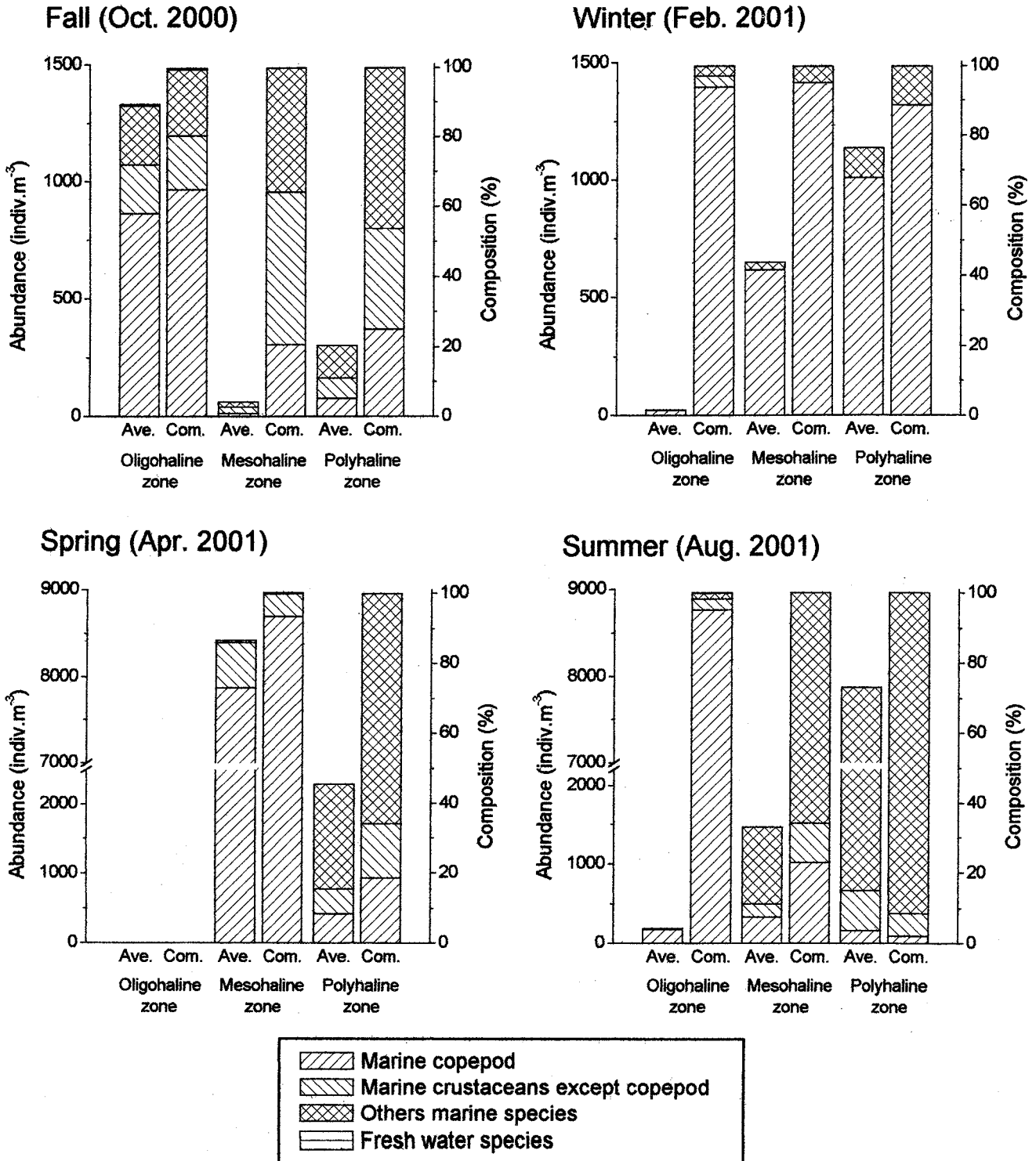


Fig. 2. Averaged total abundances (Ave., indiv./m³) and compositions (Com., %) of zooplankton in the Seomjin river estuary.

분리하여 수평 채집하였고, 사선 인양도 실시하였으며, 표·저층 간 염분의 차이가 약 5 psu 이하이면 전 수층을 대상으로 사선 인양 채집하였다. 이러한 채집을 계절별로 2000년 10월(가을), 2001년 2월(겨울), 4월(봄), 8월(여름) 등 4회 실시하였다.

채집된 시료는 선상에서 중성 포르말린으로 고정하였는데 포르말린의 최종 농도는 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 네트 입구에 부착한 유량계에서 얻어진 해수 여과량으로 나누어 단위 체적 당 개체수(indiv./m³)로 환산하였다.

결 과

총량과 우점 분류군의 계절적 변화

섬진강 하구역을 지리적 위치에 관계없이 염분의 범위만을 고려하여 염분 5 psu 이하의 저염분(oligohaline) 지역, 염분 5~18 psu의 중염분(mesohaline) 지역, 염분 18 psu 이상의 고염분(polyhaline) 지역으로 나누면(Anonymous, 1959), 갈수기인 봄철에만 소형 조사 선박이 닿을 수 있는 최상류역까지에서 저염분역이 나타나지 않고 모든 계절에서 대상 지역을 3개의 염분 구간으로 나눌 수 있었다. 이렇게 구분된 각 염분 구역에 출현하는 동물플랑크톤의 계절별 총량을 살펴보면, 가을에는 저염분역, 겨울에는 고염분역, 봄에는 중염분역, 여름철에는 고염분역에서 가장 많은 생물량을 보여(Fig. 2), 계절의 진행에 따라 생물량이 많은 지역이 일정하게 유지되지 않고 있었다. 동물 플랑크톤을 크게, 해산 요각류, 요각류를 제외한 해산 갑각류, 기타의 해산종, 그리고 담수종의 4개 분류군으로 나누어 각각의 조성율을 살펴보면(Fig. 2), 담수종은 전 계절 매우 드물게 나타나고 있었다. 겨울철에만 전 염분역에서 요각류가 절대적으로 높은 조성율을 보였으며, 다른 계절에는 상대적으로 저염분역으로 가면서 요각류가 차지하는 비중이 점차 커지는 경향이 있었다. 봄과 여름철, 상대적으로 염분이 높은 지역에서 요각류의 조성율이 크게 감소하는 것은 야광충(*Noctiluca scintillans*)이 크게 우점한 까닭으로, 이때 야광충 점유율은 지역별로 60~90%에 이르렀다.

동물플랑크톤의 총량(밀도)에서는 가을과 겨울에는 염분역 별로 약 20~1,300 개체/m³의 수준(가을철 평균 527, 겨울철 평균 767)이었던 것이 봄철에는 약 2,000~8,000 개체/m³ 수준(평균 3,313)으로 급증하였으며, 여름철에도 평균적으로는 그 수준을 유지하나 염분역 별로 188(저염분역)과 7,869(고염분역) 개체/m³와 같이 염분역 간에 매우 큰 차이가 있었다(Table 1). 가을과 겨울, 봄과 여름이 각각 총량에서는 비슷한 수준을 유지하나 많이 출현하는 지역의 염분 구간(지역)이 바뀌고, 주요 우점 분류군이 바뀌고 있어 이 지역 동물플랑크톤 군집이 매우 동적인 상태임을 보여 주었다.

주요 요각류의 계절별 지역별 양적 변동

섬진강 하구역은 비록 하구역이라 하나, 여름과 가을 저염분역에서만 각각 1, 3개의 담수종이 출현할 뿐, 대부분의 지역에서 해산 또는 기수종이 주를 이루고 있었고, 여름철에만 야광충이 가장 우점하였을 뿐, 다른 모든 계절에서는 요각류가 동물플랑크톤 군

집의 주를 이루고 있었다. 요각류만을 대상으로 하여 계절별, 염분 구역별 주요 우점 상위 5개 종을 살펴보면(Table 1); 가을철에는 저염분 지역에서 *Pseudodiaptomus* spp., *Sinocalanus tenellus*, *Acartia hudsonica* 등이 200~350 개체/m³의 수준으로 우점하고, 겨울철에는 *Acartia hudsonica*가 중염분역과 고염분역에서 다소 증가한 양(약 500 개체/m³)으로 지속적으로 우점하는 가운데 *Centropages abdominalis*와 *Eurytemora pacifica*가 100~300 개체/m³ 수준으로 다음 우점하였다. 봄철에 들어 동물플랑크톤의 양은 급증하며, 이때는 *Sinocalanus tenellus*가 중염분역에서 7,500 개체/m³ 수준에 까지 이르고, 앞선 계절에서 주요 종으로 나타났던 *Acartia hudsonica*, *Pseudodiaptomus* spp. *Centropages abdominalis* 등 외에 *Tortanus dextrilobatus*가 중염분역에서 새롭게 주요 종으로 나타났으며 이때 이 종의 양은 약 200 개체/m³ 수준이었다. 여름에는 봄철의 주요 요각류들이 양적으로 다소 감소하여 대체로 100 개체/m³ 이하의 수준을 유지하며 우점하는데, 이렇게 요각류의 생물량이 봄철에 비하여 줄어든 것은 야광충의 급증과 관련이 있는 것으로 보인다.

이들 주요 요각류의 다량 출현 지역의 염분 범위는 같은 종이라 하더라도 계절의 진행에 따라 달라지는 특징을 보였다. *Sinocalanus tenellus*는 여름, 가을철에는 저염분역에서, 봄철에는 중염분역에서 다량 출현하고, *Acartia hudsonica*는 가을철에는 저염분역, 겨울철에는 중염분역, 봄철에는 고염분역으로 점차 주 서식 범위를 옮겨가고 있었다(Table 1). 이러한 사실은 수온이나 염분과 같은 물리적 환경 요인 이외에 먹이 경쟁 등 생물 상호간의 관계와 같은 생물적 요인 역시 생물 분포 결정의 중요한 변수임을 의미한다.

주요 요각류의 출현 수온 염분 범위

주요 요각류에 대하여, 그들이 출현하는 서식처의 수온과 염분 범위를 살펴보았다. 채집된 지역의 수온과 염분의 최고 최저치와 양적으로 가장 많은 출현을 보인 지점의 수온 염분을 Table 2에 제시하였다. 수온에 대하여는 계절적 변동이 반영된 셈이고, 염분에 대하여는 지리적 차이가 반영된 셈인데, 대부분의 요각류 종들은 수온과 염분에 대하여 매우 넓은 내성 범위를 보여주었다. 한국의 주요 기수 요각류로 알려진 *Sinocalanus tenellus*의 경우를 보더라도 수온 4.6~30.1°C, 염분 0~23.9 psu의 범위에서 출현하였고, 가장 많은 양이 나타난 지역의 수온은 16.5°C, 염분은 11.3 psu였다. 대체적으로 대부분의 요각류가 해수의 영향이 큰 지역인 고염분역에서 가장 많은 양의 출현을 보이고 있어 이 섬진강 하구역 동물플랑크톤의 군집은 담수의 영향보다는 해수의 영향이 큰 지역임을 보이고 있다.

상하 성층 지역의 분포 특성

조사 기간 동안 표층과 저층의 염분 차이가 5 psu 이상인 경우는 선택된 정점 가운데 가을철에는 정점 4, 겨울철에는 정점 3, 4, 5, 봄철에는 정점 3, 그리고 여름철에는 정점 2, 3, 4의 8개로, 이들 8개 정점에서 표층과 저층의 동물플랑크톤 총량과 조성율 5% 이상인 종들의 개체수를 Table 3에 제시하였다. 여름철을 제외하면 염분이 높은 저층에서 표층보다 많은 3배 이상의 생물량이 관측되었다. 여름철에만 표층에서 더 많은 동물이 분포하는 경우가 있었는데, 이것은 야광충의 대 증식 때문이었다. 이 경우에도 야

Table 1. Variations in ranks, abundances, and composition of dominant copepod species in the Seomjin river estuary at different seasons and subregions. AA, averaged abundance in terms of indiv./m³; %, percent composition.

Season	Oligohaline zone (<5 psu)			Mesohaline zone (5~18 psu)			Polyhaline zone (>18 psu)		
Fall (Oct. 2000)									
Number of taxa observed	22			19			51		
Marine taxa	21			19			51		
Freshwater taxa	1			-			-		
Total abundance	1328.3			60.7			303.0		
Dominant taxa	Species	AA	%	Species	AA	%	Species	AA	%
	<i>Pseudodiaptomus</i> spp.	331.5	25.0	<i>Acartia pacifica</i>	8.4	13.9	<i>Acartia pacifica</i>	38.6	12.7
	<i>Sinocalanus tenellus</i>	242.5	18.3	<i>A. hudsonica</i>	1.9	3.2	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	10.9	3.6
	<i>Acartia hudsonica</i>	212.0	16.0	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	0.7	1.1	<i>Tortanus dextrilobatus</i>	7.4	2.5
	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	28.0	2.1	Harpacticoida	0.5	0.9	<i>Tortanus derjugini</i>	2.8	0.9
	<i>Tortanus dextrilobatus</i>	27.8	2.1	<i>Tortanus dextrilobatus</i>	0.3	0.6	<i>Paracalanus aculeatus</i>	2.2	0.7
Winter (Feb. 2001)									
Number of taxa observed	23			26			29		
Marine taxa	23			26			29		
Freshwater taxa	-			-			-		
Total abundance	22.7			648.2			1134.5		
Dominant taxa	Species	AA	%	Species	AA	%	Species	AA	%
	<i>Acartia hudsonica</i>	7.2	31.8	<i>Acartia hudsonica</i>	402.2	62.0	<i>Acartia hudsonica</i>	577.0	50.9
	<i>Pseudodiaptomus</i> spp.	4.7	20.5	<i>Eurytemora pacifica</i>	138.6	21.4	<i>Centropages abdominalis</i>	280.0	24.7
	<i>Eurytemora pacifica</i>	4.3	18.9	<i>Centropages abdominalis</i>	40.0	6.2	<i>Eurytemora pacifica</i>	66.4	5.9
	<i>Sinocalanus tenellus</i>	3.5	15.4	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	18.9	2.9	Harpacticoida	45.7	4.0
	<i>Tortanus dextrilobatus</i>	0.7	3.0	Harpacticoida	6.4	1.0	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	20.5	1.8
Spring (Apr. 2001)									
Number of taxa observed				11			36		
Marine taxa				11			36		
Freshwater taxa				-			-		
Total abundance				8417.0			2292.2		
Dominant taxa				Species	AA	%	Species	AA	%
				<i>Sinocalanus tenellus</i>	7459.7	88.6	<i>Acartia hudsonica</i>	120.7	5.3
				<i>Tortanus dextrilobatus</i>	213.7	2.5	<i>Sinocalanus tenellus</i>	109.4	4.8
				<i>Pseudodiaptomus</i> spp.	158.6	1.9	<i>Centropages abdominalis</i>	75.1	3.3
				<i>Eurytemora pacifica</i>	14.0	0.2	<i>Calanus sinicus</i>	58.8	2.6
				<i>Centropages abdominalis</i>	7.3	0.1	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	24.2	1.1
Summer (Aug. 2001)									
Number of taxa observed	18			39			51		
Marine taxa	15			39			51		
Freshwater taxa	3			-			-		
Total abundance	188.1			1460.0			7869.6		
Dominant taxa	Species	AA	%	Species	AA	%	Species	AA	%
	<i>Sinocalanus tenellus</i>	94.3	50.1	<i>Tortanus dextrilobatus</i>	220.1	15.1	<i>Acartia erythraea</i>	53.9	0.7
	<i>Tortanus dextrilobatus</i>	46.4	24.6	<i>Acartia pacifica</i>	61.3	4.2	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	34.9	0.4
	<i>Pseudodiaptomus</i> spp.	25.8	13.7	<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	25.9	1.8	<i>Labidocera bipinnata</i>	17.2	0.2
	<i>Acartia hudsonica</i>	10.3	5.5	Copepodite <i>Tortanus</i>	13.8	0.9	Copepodite <i>Labidocera</i>	13.5	0.2
	Copepodite <i>Tortanus</i>	2.1	1.1	<i>Acartia hudsonica</i>	6.7	0.5	<i>Tortanus forcipatus</i>	7.1	0.1

광충을 제외하면, 역시 저층에서 보다 많은 생물량이 분포하고 있었다.

상하층 염분 차이가 큰 대부분의 경우 표층과 저층의 주요 우점군의 종류가 달랐던 것과 대조적으로 겨울철 3개 정점에서는 주요 우점군의 종류 변화는 거의 없이, 양적 차이만 큰 것으로 나타났다. 표저층 간의 수온의 차이는 계절별로 큰 차이가 없으나, 겨울철이 가장 바람이 강한 때임을 고려할 때, 상하 성층의 정도가 다른 계절보다는 작았을 것으로 유추된다. 또한, 수평적으로 매우 광범위한 염분역에서 출현하는 요각류들이 상대적으로 작은 차이의 표저층 염분 구배에서 서로 다른 군집을 보이고 주로 저층에 다량 분포함은, 채집 시점이 모두 주간이었던 점을 고려하면, 수온, 염분과 같은 물리 화학적 환경 요인 이외에 주야 수직이동이나 종간 먹이 경쟁 등과 같은 다른 생물학적 요인에 의하여 군집 구조가 결정됨을 암시한다고 여겨진다.

토의 및 결론

김 등(2000)은 본 연구 지역과 같은 지역에서 지리적으로 위치를 고정하고, 월별로 채집한 시료를 통하여 요각류의 천이를 보였다. 이들이 보고한 종류나 생물량, 계절적 변동은 본 연구의 결과와 매우 흡사하다. 같은 지역이므로 당연한 결과로 보이나 이들은 직경 30 cm, 망목 55 μm 의 원추형 네트를 사용하여 10 m 거리를 수평 채집하였으므로, 이 연구에서 사용한 채집 방법과는 차이가 있다. 보다 작은 크기의 망목과 입구 직경의 네트를 사용하였음에도 불구하고, 결과로 보고된 동물플랑크톤의 종류나 생물량이 본 연구의 결과와 비슷하다는 것은 매우 이례적인 것으로 해석될 수 있다. 그러나, 출현 종의 수에서 김 등(2000)이 생물량이 적었던 시기에 요각류가 불과 2~3종 출현하였다고 한 것과 본 연구의 결과인 12~21종의 출현을 비교하면, 채집 기기의 차이가 미친 상호 반대 방향의 영향을 유추할 수 있다. 즉, 보다 큰 (직경 76 cm) 네트 입구와 큰 망목 크기의 네트를 사용한 본 연구에서는 김 등(2000)과 비교할 때, 채집된 생물의 종류가 증가한 반면, 초기 생활사인 nauplius와 copepodid 시기의 생물들이 채집에서 제외되어, 종류 수는 큰 값을 그러나 개체수는 비슷한 값을 보인 것으로 여겨진다.

반면에, 서 등(1991)이 동진·만경강 하구역에서 사용한 네트의 망목 크기는 본 연구에서 사용한 것과 같은 330 μm 이며 예인 속도도 비슷하다. 이들은 표층만을 채집하였지만 대상 수역의 중심이 알아 본 연구 결과와 직접적인 비교가 가능하다. 동물플랑크톤의 총 개체수를 정점별로 파악하여 평균으로 제시한 바를 본 연구 결과와 비교하면, 이들은 10월에 약 300 개체/ m^3 를 보고하였는데 이는 본 연구의 가을철 결과인 527 개체/ m^3 와 크게 다르다고 말하기 어렵고, 이들이 3월과 5월의 값으로 보고한 약 4,600 개체/ m^3 및 약 400 개체/ m^3 역시 평균하면 본 연구의 봄철 값인 3,300 여 개체/ m^3 와 유사하다고 볼 수 있을 것이다. 그러나, 7월에 약 350 개체/ m^3 였다고 하였는데 본 연구에서는 여름철 시료를 8월에 채집하여 약 3,000여 개체/ m^3 를 얻어 한 order의 차이를 보이고 있다. 여름철 야광충이 우점할 때의 생물량은 네트의 clogging 이나 이들의 patchy 분포 때문에 그 양의 변이가 매우 클 것이기 때문에 두 지역의 의미있는 차이로 인식하기는 어렵다. 반면에, 두 하구역 모두에서 5월과 7월에 야광충이 매우 우점한 점, 기타의

계절에 요각류가 주요 우점 종류인 점, 주요 우점 요각류 종류가 같은 점(섬진강 하구역에서 주요 우점종으로 나타난 *Sinocalanus tenellus*가 동진·만경강 하구역에서는 상대적으로 소량 출현하는 점만 예외), 이들 요각류의 염분 내성 범위가 매우 넓게 나타난 점 등은, 동진·만경강 하구역과 섬진강 하구역은 지리적으로나 조석 간만의 차이 등에서 서로 다름에도 불구하고 생물량이나 군집의 특성에서 매우 유사한 것으로 보인다.

Uye et al. (2000)은 담수역인 강과 호수 그리고 하구역이라고 할 수 있는 해협에서 망목 200 μm 의 네트를 사용하여 동물플랑크톤의 계절적 분포를 연구하였는데, 총량에서 계절적으로 큰 변화를 보이고 있었다. 호수에서는 연중 두 개의 peak가 나타나는 반면, 하구역이라 할 수 있는 해협에서는 봄철에만 가장 많은 양이 나타나는 unimodal한 양상을 보였다. 본 연구에서도 연중 하나의 peak만 나타나는 형태였는데, 이것은 온대 하구역 동물플랑크톤의 계절 변동의 전형으로 인식될 가능성을 보인다. 그러나, 연중 변화에 하나 혹은 둘의 peak가 나타나는지는 채집 주기에 따라 달라질 수 있기에 단정적으로 말하기는 어렵다. 생물량에 있어서는 본 연구의 결과보다도 한 order 정도 높게 보고하였는데, 이는 사용한 망목 크기의 차이와 지역적 차이 때문으로 여겨졌다. 주요 우점종에서는 저염분역에서는 *Sinocalanus tenellus*가 매우 우점하는 가운데 *Pseudodiaptomus inopinus*가 간헐적으로 많이 출현하며, 중염분역에서는 *Acartia hudsonica*, *A. sinjiensis*, *Eurytemora pacifica*, *Oithona davisae* 등이 우점하며, 상대적 고염분역에서 *Paracalanus* spp.의 비중이 높아졌다고 하여, 본 연구 결과와 비교하면 망목 차이로 *Oithona davisae*가 본 연구에서 보고되지 못한 점을 제외하면 매우 유사하였다.

한편, 섬진강 하구역에서 같은 방법으로 전년도에 조사된 권 등(2001)의 연구 결과와 비교하면, 본 연구에서는 개체수에서 큰 증가를 보인 것으로 나타났다. 권 등(2001)은 8월의 집중된 강우량 전후의 생물량을 비교한 것으로 동물플랑크톤이 불과 수심에서 300 개체/ m^3 이하로 나타났는데, 본 연구에서는 계절별로 차이가 있으나 권 등(2001)의 결과보다도 한 단위(order) 이상의 수치를 보여, 단기에 집중된 강수량으로 인하여 염분의 변동이 급격한 시기에 생물량이 크게 감소함을 보인 것으로 해석된다.

우리 나라 하구역의 주요 요각류 분포의 수온 염분 범위를 명시적으로 제시한 보고는 많지 않다. Table 2에 명시한 섬진강 하구역 주요 요각류의 서식 수온 염분 범위를 과거의 결과들과 비교하면, 섬진강 하구역 요각류의 주요 종으로 파악된 *Acartia hudsonica*의 경우, 마산만, 경기만, 광양만(유 등, 1991), 부산 연안(강과 이, 1990)은 물론, 인근 일본의 폐쇄적인 내만(Ueda, 1986; Ueda and Hiromi, 1987)에서도 우점종으로 나타나는데, 국내에서는 수온은 5~26.5°C, 염분은 22 psu 이상에서 나타나고 일본에서는 수온 2°C에서 31°C까지, 염분은 0.7~27 psu에서 발견되었다(Uye et al., 2000). 본 연구에서는 수온은 4.4~29.6°C, 염분 2.1~32.8 psu의 광범위한 지역에서 출현하고 있으며, 가장 많은 양이 발견된 곳의 수온과 염분은 각각 5.6°C, 26.0 psu 였다(Table 2). 이 종은 미국의 동부 연안에서도 저온의 시기에 다량 출현하고 있으며, 16°C 이상에서는 부화하지 않는 것으로 알려져 있다(Sullivan and McManus, 1986).

*Sinocalanus tenellus*의 경우는, 본 연구에서는 수온 4.6~30.1°C,

Table 2. Ranges of water temperatures (T, °C) and salinities (S, psu) where major copepod species appeared in the present study area as well as other places of previous reports.

Species	Appearance range		Maximum abundance * ¹		Sources
	T	S	T	S	
<i>Acartia erythraea</i>	20.5~27.8	21.9~31.1	26.6	30.3	This study
	21~24	27~29			Kim <i>et al.</i> , 2000
	19.2~20.9	28.9~31.4	19.4	31.2	Choi <i>et al.</i> , 1998
<i>A. hudsonica</i>	4.4~29.6	2.1~32.8	5.6	26.0	This study
	2~31	0.7~27	4~20	8~23	Uye <i>et al.</i> , 2000 * ²
	5~25	1~32	10~15		Kim <i>et al.</i> , 2000
	8.4~26.5	17.6~29.7	8.4~26.0	21.1~26.4	Suh <i>et al.</i> , 1991
<i>A. pacifica</i>	16.7~29.6	4.9~31.1	28.7	17.3	This study
	20.3~27.3	29.9~31.1	27.3	29.9	Choi <i>et al.</i> , 1998
	17~26	12~28	24~26	23~28	Myung, 1992 * ²
	14.9~27.1	8.5~29.4	15.8~27.1	9.7~27.2	Suh <i>et al.</i> , 1991
<i>Calanus sinicus</i>	4.4~29.0	8.7~32.8	14.9	32.0	This study
	5.5~26.5	28.9~32.3	6.8	32.0	Choi <i>et al.</i> , 1998
	4.1~25.4	27.6~32.4	6.0	32.4	Soh & Suh, 1993
	8.4~25.4	17.6~30.5	8.4~25.4	25.9~30.5	Suh <i>et al.</i> , 1991
<i>Centropages abdominalis</i>	4.4~16.7	4.2~32.8	5.4	32.8	This study
	8~20	16~28	< 15	15 ~ 20	Kim <i>et al.</i> , 2000
	5.5~11.5	30.9~32.3	11.2	31.9	Choi <i>et al.</i> , 1998
	4.1~14.2	29.5~32.4	6.0	32.4	Soh & Suh, 1993
	8.4~27.1	8.5~30.4	8.4~27.1	21.9~30.5	Suh <i>et al.</i> , 1991
<i>C. dorsispinatus</i>	20.5~27.8	21.9~26.4	27.8	25.3	This study
	5.5~6.9	31.1~32.1	6.9	31.1	Choi <i>et al.</i> , 1998
<i>Eurytemora pacifica</i>	4.4~16.7	4.2~32.8	4.6	10.5	This study
		11~32			Kim <i>et al.</i> , 2000
	2~31	3~27	4~9	13~26	Uye <i>et al.</i> , 2000 * ²
<i>Labidocera bipinnata</i>	20.5~29.0	15.8~30.3	26.6	30.3	This study
	19.2~27.3	28.9~31.4	27.3	29.9	Choi <i>et al.</i> , 1998
	14.3~24.8	17.6~30.4	14.8~15.9	25.9~30.4	Suh <i>et al.</i> , 1991
<i>Paracalanus parvus</i> s.l.	4.4~29.6	2.1~32.8	14.9	32.0	This study
	6~24	2~29	15~25		Kim <i>et al.</i> , 2000
	5.5~27.3	28.9~32.3	26.9	30.2	Choi <i>et al.</i> , 1998
		14~32		>27	Myung, 1992
<i>P. indicus</i>	8.4~27.6	0.7~30.4	8.7~25.4	24.5~30.4	Suh <i>et al.</i> , 1991
<i>Paracalanus</i> spp.	5~28	10~27	10~23	21~25	Uye <i>et al.</i> , 2000 * ²
	4.1~25.4	27.6~32.4			Soh & Suh, 1993
<i>P. aculeatus</i>	4.4~28.7	2.1~32.8	14.9	32.0	This study
<i>Pseudodiaptomus</i> spp.	4.6~30.1	0.0~32.8	16.0	0.0	This study
<i>P. inopinus</i>	8~27	1~29	21~27	0.6~5.0	Kim <i>et al.</i> , 2000
	2~31	0.7~27	4~8	18~20	Uye <i>et al.</i> , 2000 * ²
	8.4~27.6	0.7~29.4	10.3~27.6	0.7~25.9	Suh <i>et al.</i> , 1991
<i>Sinocalanus tenellus</i>	4.6~30.1	0.0~23.9	16.5	11.3	This study
	2.1~30.8	0.7~26.6	2.1~27.8	0.7~14.7	Uye <i>et al.</i> , 2000
	5~27	0~14	14~27	0.6~5.0	Kim <i>et al.</i> , 2000
	14.6~27.6	0.7~30.5	14.6~27.6	0.7~30.5	Suh <i>et al.</i> , 1991
<i>Temora discaudata</i>	20.8~26.6	26.4~31.1	26.6	30.3	This study
<i>Tortanus derjugini</i>	4.6~29.0	6.5~21.9	20.5	21.9	This study
<i>T. dextrilobatus</i>	4.6~30.1	0.0~26.4	29.6	9.6	This study
<i>T. forcipatus</i>	20.5~29.0	15.8~30.3	27.8	25.3	This study
	10.2~26.9	28.9~32.3	26.7	30.5	Choi <i>et al.</i> , 1998
	15.8~24.8	27.2~29.4	17.3~24.8	28.9~29.4	Suh <i>et al.</i> , 1991

*¹, values with ranges are inferred from the paper as relatively high abundance zone*², inferred from figures.

Table 3: Comparison of major components of zooplankton assemblages between surface and near bottom in the Seomjin river estuary where salinity difference at surface and near bottom was greater than ca. 5 psu. Total and mean abundances are in terms of indiv.m⁻³.

Season & station		Fall, Station 4					Winter, Station 3						
Water depth		10.5 m					7.1 m						
Target depth		Surface		Near bottom			Surface		Near bottom				
T (°C) & S (psu)		20.5°C, 18.0 psu		20.7°C, 24.0 psu			4.8°C, 20.0 psu		6.0°C, 29.3 psu				
Total abundance		20.3					766.8						
Dominant taxa		Species	Mean	% Species	Mean	% Species	Mean	% Species	Mean	%			
		<i>Podon</i> spp.	8.6	42.4	<i>A. pacifica</i>	454.3	59.3	<i>A. hudsonica</i>	90.9	42.2	<i>A. hudsonica</i>	1262.2	50.3
		<i>Oikopleura</i> spp.	7.6	37.3	<i>T. derjugini</i>	87.5	11.4	Harpacticoida	59.4	27.6	<i>N. scintillans</i>	594.4	23.7
		<i>Diphyes</i> spp.	1.4	6.8	<i>T. dextrilobatus</i>	57.4	7.5	<i>N. scintillans</i>	24.1	11.2	<i>C. abdominalis</i>	271.6	10.8
		<i>A. pacifica</i>	1.0	5.1	<i>P. parvus</i> s.l.	39.2	5.1	<i>C. abdominalis</i>	17.2	8.0	<i>E. pacifica</i>	169.6	6.8
Season & station		Winter, Station 4					Winter, Station 5						
Water depth		10.1m					7.1 m						
Target depth		Surface		Near bottom			Surface		Near bottom				
T (°C) & S (psu)		4.4°C, 15.3 psu		5.7°C, 26.2 psu			4.6°C, 10.5 psu		5.3°C, 22.4 psu				
Total abundance		580.8					3538.2						
Dominant taxa		Species	Mean	% Species	Mean	% Species	Mean	% Species	Mean	%			
		<i>A. hudsonica</i>	395.6	68.1	<i>A. hudsonica</i>	2166.4	61.2	<i>A. hudsonica</i>	708.2	63.0	<i>A. hudsonica</i>	3127.6	67.0
		<i>E. pacifica</i>	99.6	17.1	<i>E. pacifica</i>	783.3	22.1	<i>E. pacifica</i>	232.7	20.7	<i>E. pacifica</i>	988.9	21.2
					<i>N. scintillans</i>	236.1	6.7	<i>C. abdominalis</i>	92.0	8.2	<i>C. abdominalis</i>	300.9	6.4
Season & station		Spring, Station 3					Summer, Station 2						
Water depth		8.7 m					15.6 m						
Target depth		Surface		Near bottom			Surface		Near bottom				
T (°C) & S (psu)		16.3°C, 23.9 psu		15.8°C, 30.0 psu			27.8°C, 25.3 psu		27.0°C, 31.0 psu				
Total abundance		652.0					1949.7						
Dominant taxa		Species	Mean	% Species	Mean	% Species	Mean	% Species	Mean	%			
		<i>Ci. nauplius</i>	275.5	42.3	<i>N. scintillans</i>	807.3	41.4	<i>N. scintillans</i>	9526.0	89.8	<i>N. scintillans</i>	832.0	47.0
		<i>Po. leuckarti</i>	234.4	35.9	<i>Ci. nauplius</i>	577.0	29.6				<i>S. crassa</i>	258.0	14.6
		<i>N. scintillans</i>	45.0	6.9	<i>Po. leuckarti</i>	208.8	10.7				<i>Pseudodiaptomus</i> spp.	114.8	6.5
					<i>A. hudsonica</i>	150.6	7.7						
Season & station		Summer, Station 3					Summer, Station 4						
Water depth		8.4 m					7.8 m						
Target depth		Surface		Near bottom			Surface		Near bottom				
T (°C) & S (psu)		28.7°C, 17.3 psu		27.4°C, 22.0 psu			29.0°C, 15.8 psu		27.7°C, 24.9 psu				
Total abundance		2461.9					2050.1						
Dominant taxa		Species	Mean	% Species	Mean	% Species	Mean	% Species	Mean	%			
		<i>N. scintillans</i>	1538.9	62.5	<i>N. scintillans</i>	726.2	35.4	<i>N. scintillans</i>	232.8	40.3	<i>N. scintillans</i>	453.2	35.0
		<i>Ci. nauplius</i>	185.9	7.5	<i>A. pacifica</i>	394.8	19.3	<i>A. pacifica</i>	68.8	11.9	<i>T. dextrilobatus</i>	194.6	15.0
					<i>T. dextrilobatus</i>	256.2	12.5	De. larva	54.2	9.4	<i>A. pacifica</i>	178.6	13.8
								<i>Obelia</i> spp.	45.3	7.8	De. larva	65.1	5.0
								<i>Ci. nauplius</i>	37.9	6.6			
								<i>T. dextrilobatus</i>	37.3	6.5			

*Remarks: *A.*, *Acartia*; *C.*, *Centropages*; *E.*, *Eurytemora*; *P.*, *Paracalanus*; *T.*, *Tortanus*; *Po.*, *Podon*; *S.*, *Sagitta*; *N.*, *Noctiluca*; *De.*, *Decapoda*; *Ci.*, *Cirripedia*.

염분 0~23.9 psu의 광범위한 지역에서 출현하고 있었으며, Uye *et al.* (2000)은 이 종의 출현 범위를 수온 2.1~30.8°C, 염분 0.7~26.6 psu로 보고하였고, Yoo *et al.* (1987)은 영산호에서 수온 13~

25°C의 범위에 서식함을 보였다. Kimoto *et al.* (1986)은 실험실에서 수온 6.6~31.3°C, 염분 2.5~35 psu의 광범위한 조건에서 부화하며 수온 6.2~27.1°C, 염분 5.0~30.0 psu의 범위에서 후기 발

생이 진행됨을 보고하였다. 이 종이 본 연구에서 가장 많은 양이 출현한 지역은 수온 16.5°C, 염분 11.3 psu였는데, Uye *et al.* (2000)의 그림에서 유추된 가장 많은 분포 구역의 수온과 염분은 각각 수온 2.1~27.8°C, 염분 0.7~14.7 psu였다.

그 밖의 우점 요각류 종들에 대한 서식처의 수온 염분 범위와 가장 많이 출현한 지역의 수온 염분역을 Table 2에 제시하였는데, 본 연구 이외의 자료 중 일부는 그림에서 유추되어 정확한 수치 보다는 범위로 표시되기도 하였다. Table 2에서 보듯이, 전반적으로 수온과 염분에 대한 내성 범위가 매우 크다는 사실은, 하구역 동물플랑크톤의 분포에 수온과 염분과 같은 물리적 환경 요인이 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 해석될 수 있고, 따라서, 먹이 경쟁 등과 같은 생물학적 요인이 분포에 더 큰 영향을 미친다고 할 수도 있다(Esteves *et al.*, 2000). 특히, 요각류가 대체로 우세하였지만 야광충이 우세한 시기와 지역에서 해산 요각류가 현저하게 줄어드는 것은 요각류와 야광충의 먹이 경쟁 또는 야광충의 요각류 알에 대한 포식압(Quevedo *et al.*, 1999) 등의 영향으로 보인다.

생물학적 요인이 분포에 더 큰 영향을 미치고 있다는 추론은 표저층의 군집 비교에서도 가능하였다. 수심이 10 m 이내인 이 지역에서 표층과 저층의 염분 차이가 5 psu 정도 일 때, 비교적 바람이 강하여 수직 혼합이 활발하다고 유추되는 겨울철 이외의 세 계절에서 표층과 저층의 군집 구조가 다르게 나타났었다(Table 3). 수평적으로 매우 넓은 염분 범위에서 출현하는 대부분의 요각류들이, 불과 5 psu 정도의 염분 차이인 저층과 표층에서 우점종의 구성, 개체수 등 군집의 구조에서 서로 다른, 수온이나 염분과 같은 물리적인 환경요인 이외에 수직이동 등과 같은 다른 행동 생태적 요인이 분포에 영향을 미치고 있음을 보이고 있다고 할 수 있기 때문이다. 이들 정점에서의 채집 시점이 모두 주간이었기 때문에 주야 수직 이동의 전형으로 보아 수직이동이 영향을 미친 것으로 여겨지나, 입증할 시간의 총별 채집 자료가 없어 단정적으로 말하기는 어려웠다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 학술연구비(과제번호 R01-2000-00063) 지원에 의해 수행되었습니다. 투고된 논문에 대하여 많은 지적과 조언을 주신 채진호 박사, 서호영 박사께 깊은 감사를 표합니다. 참고문헌 중 영문만을 사용하게 되어있는 표에만 인용된 것은 국문으로 작성되었다 하더라도 영문으로 표기하였음.

참고문헌

강영실, 이삼석, 1990. 한국 연안의 요각류 중 *Acartia clausi*로 분류되어지고 있는 종에 대한 재검정 및 분포에 대한 연구. 한국수산학회지, **23**(5): 378-384.

권기영, 이평강, 박철, 문창호, 박미옥, 2001. 섬진강 하구역에서 염분 경사에 따른 동·식물플랑크톤의 현종량과 종 조성. 한국해양학회지 '바다', **6**(2): 93-102.

김광수, 이종빈, 이관식, 강장원, 유형빈, 2000. 섬진강 하류계의 요각류 군집에 관한 생태학적 연구. 한국육수학회지, **33**(2): 176-186.

서해립, 서호영, 차성식, 1991. 만경 동진강 하구역의 동물플랑크톤의 분포와 염분. 한국해양학회지, **26**(3): 181-192.

유광일, 허희권, 이원철, 1991. 한국 연안에 분포하는 *Acartia*속 요각류의 분류학적인 재검토. 한국수산학회지, **24**(4): 255-265.

Anonymous, 1959. Symposium on the classification of brackish waters. Venice 8-14th April 1958. Archivio di oceanografia Limnologia Volume 11. Supplemento (Simposio sulla Classificazione della Acque Salmastre. Venezia 8-14th Aprile, 1958).

Choi, S. D., Y. S. Kim and K. H. Han, 1998. The characteristics of zooplankton community in Kwangyang Bay, Korea. *Bull. Yosu Nat'l Univ.* **13**(2): 959-971. (in Korean)

Dussart, B. H., 1965. Les différentes catégories de plankton. *Hydrobiologia*, **26**: 72-74.

Esteves, E., T. Pina, M. A. Chicharro and J. P. Andrade, 2000. The distribution of estuarine fish larvae: Nutritional condition and co-occurrence with predators and prey. *Acta Oecologica*, **21**(3): 161-173.

Gunter, G., 1961. Some relations of estuarine organisms to salinity. *Limnol. Oceanogr.*, **6**: 182-190.

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.

Kimoto, K., S. Uye and T. Onbe, 1986. Growth characteristics of a brackish-water calanoid copepod *Sinocalanus tenellus* in relation to temperature and salinity. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **33**(1): 43-57.

Myung, C. S., 1992. An ecological study of zooplankton community in brackish water, Han River estuary. MS thesis, Inha Univ., Incheon. 83 pp. (in Korean)

Quevedo, M., R. Gonzalez-Quiros and R. Anadon, 1999. Evidence of heavy predation by *Noctiluca scintillans* on *Acartia clausi* (Copepoda) eggs off the central Cantabrian coast (NW Spain). *Oceanologica Acta*, **22**(1): 127-131.

Soh, H. Y. and H. L. Suh, 1993. Seasonal fluctuation of the abundance of the planktonic copepods in Kwangyang Bay. *Korean J. Environ. Biol.*, **11**(1): 26-34 (in Korean).

Sullivan, B. K. and L. T. McManus, 1986. Factors controlling seasonal succession of the copepods *Acartia hudsonica* and *A. tonsa* in Narragansett Bay, Rhode Island: temperature and resting egg production. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **28**: 121-128.

Ueda, H. 1986. Taxonomic reexamination and geographic distribution of copepods known as *Acartia clausi* in Japanese coastal and inlet waters. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **42**: 134-138.

Ueda, H. and J. Hiromi, 1987. The *Acartia plumosa* T. Scott species group (Copepod: Calanoida) with a description of *A. tropica* n. sp. *Crustaceana*, **53**: 225-236.

Uye, S., T. Shimazu, M. Yamamuro, Y. Isgitobi and H. Kamiya, 2000. Geographical and seasonal variations in mesozooplankton abundance and biomass in relation to environmental parameters in Lake Shinji-Ohashi River-Lake Nakaumi brackish-water system, Japan. *J. Mar. Syst.*, **26**: 193-207.

Yoo, K. I., B. J. Lim and C. I. Choi, 1987. Ecological studies on zooplankton community in lake Yongsan, Korea. *Korean J. Limnol.*, **20**(2): 61-72.

2002년 1월 28일 원고접수

2002년 3월 30일 수정본 채택

담당편집위원: 서해립