

진해만 수질 환경과 동물플랑크톤 군집 및 요각류 분포 특성

강영실 · 박주석 · 이삼석 · 김학균 · 이필용
국립수산진흥원

Zooplankton Community and Distributions of Copepods in Relation to Eutrophic Evaluation in Chinhae Bay

Young-Shil KANG, Joo-Suck PARK, Sam-Seuk LEE, Hak-Gyoon KIM and Phil-Yong LEE
National Fisheries Research and Development Agency, Pusan, 626-900, Korea

Spatio-temporal variations in zooplankton community and copepod indicator species were investigated along with the interaction between zooplankton distribution and environmental factors in Chinhae Bay. Zooplankton samples were monthly collected at 7 stations from February to September in 1993. A NO-RPAC net was vertically hauled from bottom to surface. At the same station, environmental factors such as temperature, salinity and COD (chemical oxygen demand) were measured at two different water layers, surface and bottom.

In August and September, salinity declined below 30.00‰, while eutrophic parameters such as COD showed the higher concentrations than those in other months, with higher concentrations at inner bay stations. Salinities were, however, higher at bay mouth areas. These distributional patterns were believed to be caused by input and dispersion of organic matters from nearby land.

Zooplankton communities were composed of 7~14 taxa. Of these, *Noctiluca scintillans* was predominant and occupied 90.6% of total zooplankton abundance. Cladocera and Copepoda were secondly abundant taxa. Among 6 to 10 copepod species appeared, *Acartia omorii* and *A. hudsonica* were most common species during the survey months except March and September.

Species diversities were greater, in general, at inner bay than outer bay. The lowest diversity index was observed in February, while the highest in July.

Cluster analysis could divide the study area into 2 or 4 zones for each month. Zone I, mouth area of the bay, was characterized by the influence of offshore waters. Zone II was mixing area. Zone III and IV seemed to be affected by nearby land.

Key words : Chinhae Bay, zooplankton, Copepod indicator, eutrophic evaluation, environment

서론

진해만은 정치망 및 권현망 어장으로서 친해의 어장일 뿐만 아니라 멸치, 대구 등 많은 어족 자원의 산란장 및 치어 성육장으로서 가치가 큰 해역이었다. 그러나 1970년대에 들어 도시 및 산업의 발달로 인한 각종 오염물 및 산업폐기물의 유입으로 환경이 급격히 악화되고 있는 실정이다. 또한, 진해만은 반폐쇄된 해역이며, 수심이 10~20 m 내외로 낮아 이러한 오염

현상이 더욱 가속화되고 있는 실정이다. 최근에는 부영양화로 인한 빈산소수괴 및 적조현상의 빈번한 발생으로 어장으로서의 효용 가치가 떨어지고 있다.

이러한 환경악화 현상에 대한 개선 및 회복을 위해서는 제한현상의 발생 메카니즘에 대한 구명이 이루어져야 한다. 발생 메카니즘을 밝히기 위해서는 무엇보다도 자연환경의 변화과정을 수리역학적, 화학적, 물리학적, 생물학적 그리고 지리학적 접근을 통한 종합적 연구 및 해석이 필요하다.

선도기술 개발사업(G-7 프로젝트)인 해양환경 관리기술과제의 일부로써 수행된 과제임.

진해만에서 현재까지 위와 관련된 연구로서 주로 1970년대 후반부터 환경과 적조 현상에 관한 연구가 많이 진행되었으며 (Park and Kim, 1967; Yoo and Lee, 1979, 1980a, b; Park, 1980), 최근에는 빈산소 수괴 형성과 퇴적물 오염에 관한 연구가 중요하게 다루어졌다 (Kim and Lee, 1994). 또한, Lim and Hong (1994)은 저서생물상의 변동에 따라 진해만의 환경평가를 시도하였다.

그러나 동물플랑크톤 중 주요한 지표성 종과 군집구조 해석에 의한 오염 정도의 파악과 생태계 변화를 밝히는 것 또한 매우 중요한 일이나 이러한 연구는 미진한 실정이다. Lee (1972)가 진해만 및 인접 연안에서 출현하는 동물플랑크톤의 변동을 밝힌 바 있으며, Park and Lee (1982)가 남해안에서 출현하는 동물플랑크톤 중 오염지표성 종으로 가치가 큰 종을 밝힌 바 있다.

본 연구에서는 지표성 요각류의 분포와 동물플랑크톤의 군집 생태를 분석하여 진해만의 수질환경 변동과의 관계를 논의하였다.

재료 및 방법

본 연구는 진해만 내 7개 정점에서 1993년 2월~9월에 매월 1회씩 조사한 시료와 자료를 사용하였다 (Fig. 1). 동물플랑크톤은 NORPAC net (구경 45 cm, 망목 0.33 mm)로 저층에서 표층까지 수직 채집하였다. 채집된 동물플랑크톤은 선상에서 5% 중성포르말린으로 고정시킨 후, 실험실에서 분류 및 계수하였다. 요각류는 종까지 분류하였으며 그 외 동물플랑크톤은 문~강의 분류단계까지 분류하였다. 환경요인으로는 수온, 염분 및 화학적 산소요구량 (COD)을 표층 (0 m)과 저층 (10~20 m)에서 각각 측정하였다.

동물플랑크톤군 및 요각류 종별 자료로써 Shannon-Wiener의 다양도지수 (Pielou, 1974)로 다양도를 구하였으며, 정점간 Euclidean 상대거리 (Relative Euclidean distance)를 구하여 비가중 평균 결합법 (Lance and Williams, 1967)으로 집괴분석하였다. 집괴분석 (Cluster analysis) 결과 대별되어진 해역별로 환경요인의 평균값을 구하였다.

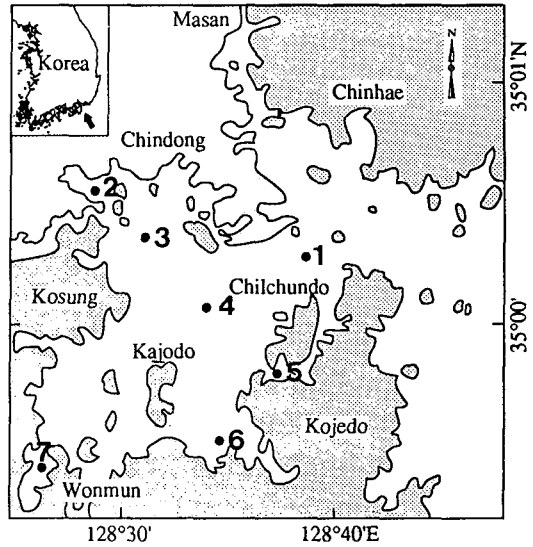


Fig. 1. Map showing the sampling stations in Chinhae Bay in 1993.

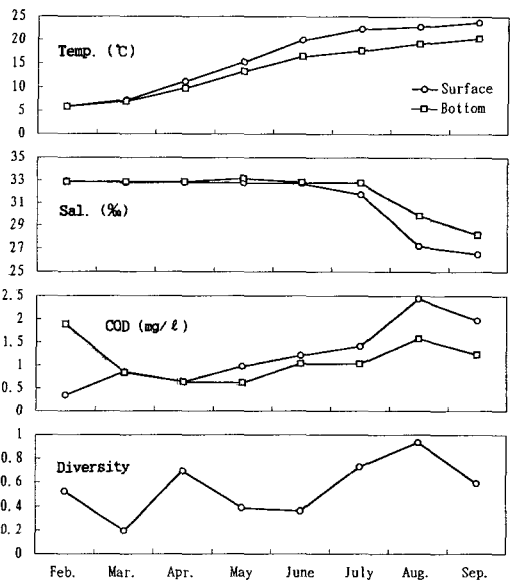


Fig. 2. Seasonal variations of temperature, salinity, COD and zooplankton diversity in Chinhae Bay in 1993.

결과

수질환경

수온, 염분과 COD의 월별 정점간 평균을 표층과

저층에서 각각 구하여 조사월별 변동양상을 분석하였다 (Appendix 1; Fig. 2). 수온은 표층의 경우, 5.9~23.7°C이며 2월에 가장 낮고 9월에 가장 높았다. 저층은 5.9~20.2°C 범위이며 역시 2월에 가장 낮고 9월에 가장 높았다. 2~5월에는 표·저층간의 온도차가 1°C 내외로 낮았으나 6월에 접어들면서 3.0°C 이상으로 높아지기 시작하여 이러한 현상은 9월까지 지속되었다. 수온의 월별 분포양상은 표층의 경우, 만입구에서 만내로 가면서 높아지는 경향을 보였다 (Fig. 2). 특히 7월에는 정점간 온도차가 4.4°C로 만입구에서 매우 낮았다. 저층은 2, 3, 9월에는 표층과 유사한 분포 경향을 나타내었으나 그 외 조사월에는 만 중앙부가 오히려 낮았다.

염분은 표층의 경우, 26.52~32.93‰ 범위이며 2월에 최고값을 9월에 최저값을 보였다 (Fig. 2). 저층은 28.21~33.16‰로 표층과 달리 5월에 최고값을 보였다. 염분은 7월부터 낮아지기 시작하여 9월에는 최저 26.52‰까지 내려갔다. 표·저층간의 차는 2월~4월에는 0.01‰ 이하로 매우 낮았다. 그러나 점차적으로 높아지기 시작해 8월에는 2.64‰로 가장 높은 차를 보였다. 염분은 표·저층 모두 만입구에서 만내로 가면서 낮아지는 경향을 보였다 (Fig. 2). 그러나 표층의 7월과 저층의 5월에는 다른 조사월과는 달리 남부에 위치한 칠천도~가조도에서 북부에 위치한 진동만으로 가면서 낮아지는 경향을 나타내었다.

COD의 경우, 표층에서는 2월부터 점차적으로 높아지기 시작하여 8월에 최고값을 보였다 (Fig. 2). 그러나 저층에서는 2월에 1.89 mg/l로 최고값을 보이며 5월에 0.62 mg/l로 최저값을 보였다. 표·저층간의 차는 0.02~1.54 mg/l로, 4월에는 차가 없었다. 2월에 표·저층간 차가 가장 컸으며, 3~7월에는 차가 적다가 8월에 접어들면서 다시 커졌다. COD는 진동만에서 일반적으로 높게 나타나는 경향을 보이나, 저층에서는 3, 6, 7월에 만내 중앙을 중심으로하여 칠천도~가조도 부근해역에서 높았다 (Fig. 2).

동물플랑크톤 출현량 및 종조성

동물플랑크톤의 평균 출현량은 25,035.9 inds./m³이며, 범위는 3,477.0~82,613.0 inds./m³였다. 출현량의 월별 변동을 보면, 2월에 최소값을, 5월에 최대값을 보였다 (Fig. 3). 동물플랑크톤중 원생동물로써 적조 원

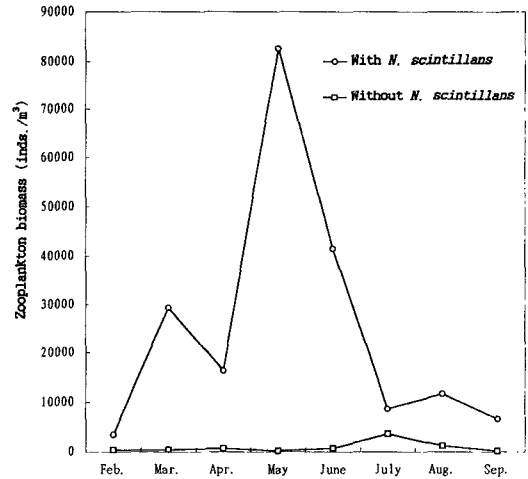


Fig. 3. Seasonal variations in zooplankton biomasses (inds./m³) with *Noctiluca scintillans* and without *N. scintillans* in Chinhae Bay, 1993.

인생물인 *Noctiluca scintillans*를 제외하면, 평균 출현량은 962.7 inds./m³로 현저히 낮았다. 또한, 조사월별 변동을 보면 5월에 245.1 inds./m³로 최소값을 나타내었으며 7월에 3,666.6 inds./m³로 최대값을 보였다.

*N. scintillans*를 제외한 동물플랑크톤 출현량 분포를 보면, 2~5월에는 주로 만내 남부해역인 칠천도~가조도간 연안 및 원문만에서 출현량이 높으며 상대적으로 북부해역인 진동만에서 낮았다 (Fig. 4). 특히, 6월과 7월에는 진동만내 정점인 정점 3에서 동물플랑크톤 출현량이 타 조사정점에 비해 월등히 낮았다.

동물플랑크톤은 전 조사월을 통하여 총 17개군으로 분류되었으며, *N. scintillans*의 평균조성률이 90.6%로 원생동물 (Protozoa)이 최우점군이였다. 이 외에 지각류 (Cladocera)가 5.6%, 요각류 (Copepoda)가 2.7%의 평균조성률을 나타내어 우점군이였다 (Fig. 5). 주요 동물플랑크톤군의 월별 변동양상을 보면, 2월에 *N. scintillans*의 조성률이 89.2%로 타 조사월에 비해 낮을 때 요각류가 9.2%로 타 조사월에 비해 높은 조성률을 나타내었다. 그 후 6월까지의 *N. scintillans*가 95.0% 이상의 높은 조성률을 나타내었다. 그러나 7월에 *N. scintillans*의 조성률이 57.7%로 급속히 떨어지면서 지각류의 조성률이 36.6%로 급상승하여 다른 양상을 보였다. 주요 동물플랑크톤중 *N. scintillans*의 출현량은 5월에 82,367.9 inds./m³로 최고값을 보였으며, 반면

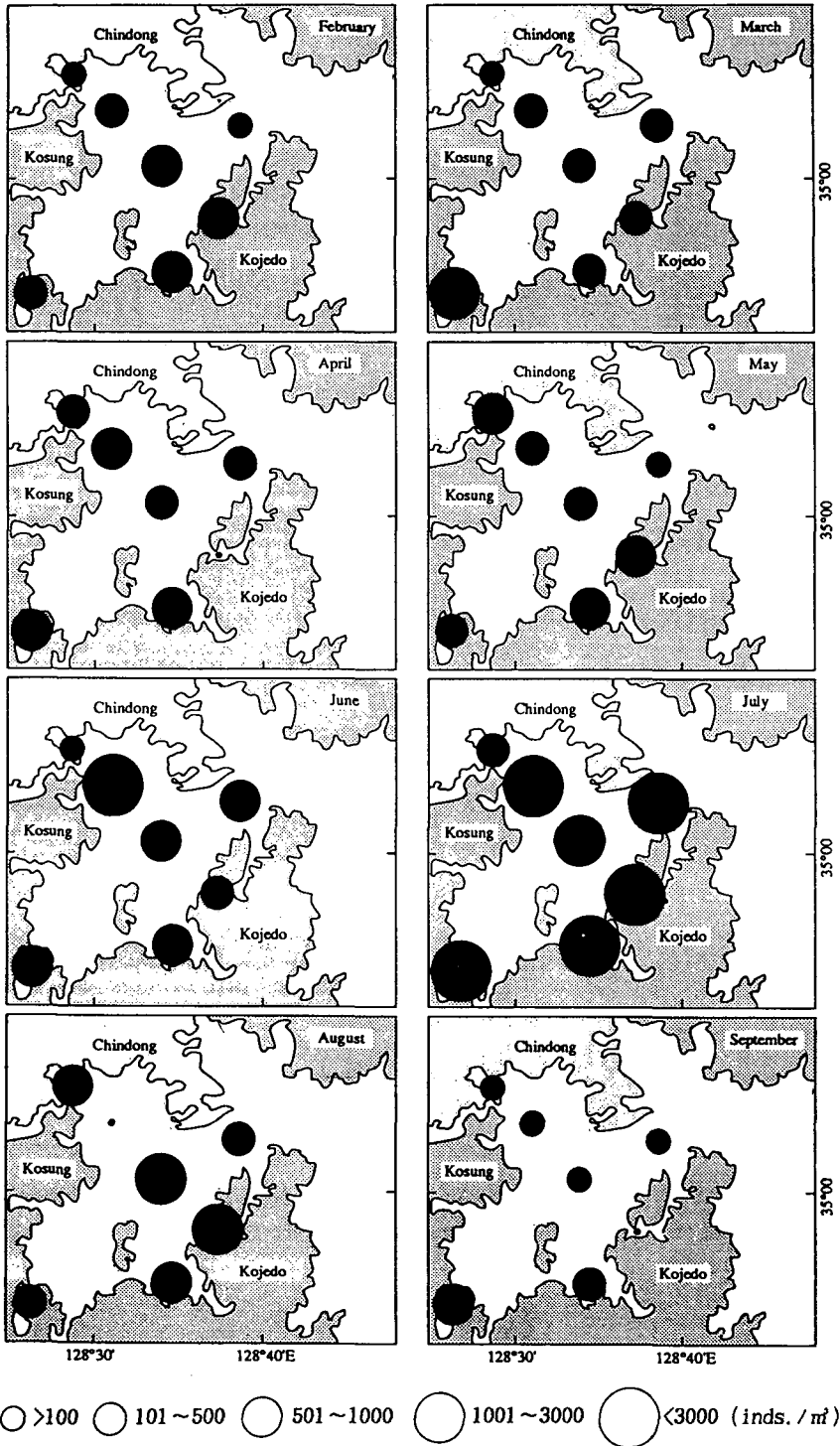


Fig. 4. Monthly distribution of zooplankton biomass (inds./m³) without *Noctiluca scintillans* in Chinhae Bay in 1993.

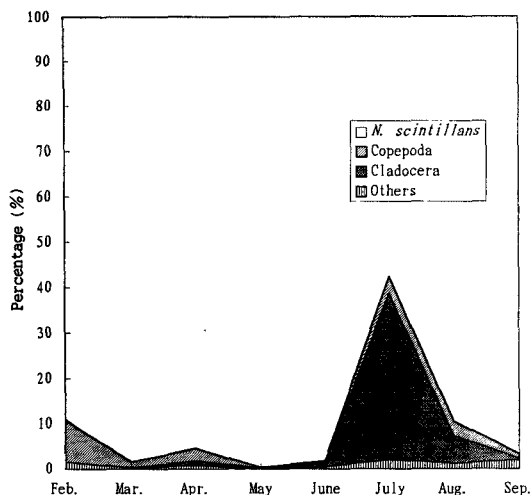


Fig. 5. Monthly variation in the percentage composition of the major zooplankton group in Chinhae Bay in 1993.

에 2월과 7월에는 각각 3,096.6와 4,999.7 inds./m³로 낮은 값을 보였다 (Table 1).

요각류의 월평균 출현량은 63.7~451.0 inds./m³범위로 4월에 가장 높고 9월에 가장 낮았다. 지각류는 최고의 조성을 보였던 7월에 역시 3,170.1 inds./m³로 가장 높은 출현량을 보였다.

요각류의 종조성 및 주요 지표성 종의 분포

요각류는 전 조사월을 통하여 총 17종이 출현하였다 (Table 2). 5월에 11종이 출현하여 가장 많은 종 출현수를 보였으며 9월에 6종으로 가장 적은 종이 출현하였다. 우점종은 조사월에 따라 차이가 있으나, 주로 *Acartia omorii*, *Acartia hudsonica*, *Paracalanus indicus* 그리고 *Eurytemora pacifica*가 주요 우점종이었다. 3월과 9월을 제외한 전 조사월에 *Acartia omorii*가 주요 우점종이었다. 이외에 *Eurytemora pacifica*가 2~5월에 출현하였으며, 이 종은 3월에 최고 31.2%의 높

은 조성을 보였다. *A. omorii*는 9월에는 출현하지 않았으며 다음으로 3월에 29.3%의 낮은 조성을 보였다. 그의 조사월에는 약 50% 내외의 조성을 보였으며, 7월에 75.8%로 가장 높은 조성을 보였다. *A. hudsonica*는 2~4월에는 10% 미만의 낮은 조성을 보이다가 5월에 46.3%의 가장 높은 조성을 보였다. *A. omorii*와 *A. hudsonica*가 출현하지 않는 9월에는 *P. indicus*와 연안 난류성 종인 *Acartia erythroa*가 높은 조성을 보였다.

본 연구해역에서 출현하는 요각류 중 연안 오염지표성 종인 *Acartia omorii*와 *Acartia hudsonica* (Ueda, 1986; Kang and Lee, 1990; Yoo et al., 1991), 연안 저온성 종인 *Centropages abdominalis* (Lee, 1972; Park and Lee, 1982), 연안 난류성 종인 *Acartia erythroa* (Lee, 1972)의 분포를 분석하였다. *Acartia omorii*는 월평균 출현량이 0~240.9 inds./m³로 7월에 최고량을 보였으며 9월에는 출현하지 않았다 (Fig. 6). 주로 만입구인 정점 1에서 출현량이 낮았으며, 만내에서 출현량이 높았다. 특히, 원문~가조도~칠천도간 해역과 진동만내에서 출현량이 높았다. *Acartia hudsonica*는 9월을 제외한 전 조사월에 출현하였으며, 8월에 출현량이 117.2 inds./m³로 가장 높았다. 이 종 역시, *A. omorii*와 같이 주로 만입구인 정점 1에서 출현량이 낮았으며 만내 육지에 인접한 정점에서 출현량이 높았다.

*Centropages abdominalis*는 2, 3, 4, 5월에 출현하였으며 4월에 가장 높은 출현량을 나타내었다 (Fig. 7). 이 종은 만입구를 중심으로하여 칠천도~가조도간 인접 정점에서 다량 출현하는 경향을 보였다. *Acartia erythroa*는 7월과 9월에만 출현하였다. 7월에는 원문만의 정점 7에서만 6.7 inds./m³로 소량 출현하였으며 9월에는 거의 전 조사정점에서 출현하였다. 특히, 만내에 위치한 정점 6, 7에서 각각 28.7와 25.2 inds./m³의

Table 1. Abundance(inds./m³) of major zooplankton in Chinhae Bay(1993)

Month Zooplankton	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.
<i>Noctiluca scintillans</i>	3,096.6	28,860.9	15,570.4	82,367.9	40,723.6	4,999.7	10,493.7	6,472.5
Cladocera	0	1.6	163.8	21.0	310.3	3,170.1	715.1	25.6
Copepoda	320.4	395.1	451.0	191.4	222.6	319.1	379.0	63.7
Others	55.6	64.0	122.7	31.9	213.3	178.9	135.9	144.7

Table 2. Mean abundance(inds./m³) and percentage composition of copepods in each survey month (1993)

Month	February		March		April		May		June		July		August		September	
	Abundance	%	Abundance	%	Abundance	%	Abundance	%	Abundance	%	Abundance	%	Abundance	%	Abundance	%
<i>Zooplankton</i>																
<i>Calanus sinicus</i>	12.12	3.79	29.49	7.46	21.17	5.06	4.74	2.48	4.26	2.16	0.61	0.19	3.08	0.81		
<i>Paracalanus indicus</i>	43.77	13.68	68.23	17.27	38.94	9.31	10.23	5.36	18.41	9.34	19.78	6.23	34.67	9.15	24.44	38.37
<i>Paracalanus crassirostris</i>	3.35	1.05	2.10	0.53	37.82	9.04	2.23	1.17	6.08	3.09	21.33	6.72	17.61	4.65	8.07	12.67
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	1.58	0.49											0.28	0.07		
<i>Labidocera bipinnata</i>							0.19	0.10	0.15	0.08	0.91	0.29				
<i>Acartia hudsonica</i>	6.70	2.09	28.09	7.40	12.68	3.03	88.38	46.27	61.39	31.16	16.13	5.08	117.15	30.91		
<i>Acartia omorii</i>	220.90	69.02	115.89	29.33	185.58	44.36	69.62	36.45	96.39	48.92	240.85	75.84	175.16	46.22		
<i>Acartia erythroa</i>											0.61	0.19			17.64	27.69
<i>Acartia pacifica</i>													1.12	0.30	3.91	6.14
<i>Eurytemora pacifica</i>	19.05	5.95	123.40	31.23	46.41	11.09	3.72	1.95								
<i>Centropages abdominalis</i>	10.37	3.24	26.20	6.63	62.26	14.88	0.74	0.39								
<i>Eucalanus larva</i>																
<i>Tortanus forcipatus</i>																
<i>Corycaeus</i> sp.			0.63	0.16	11.99	2.87	5.95	3.11	5.63	2.86	1.83	0.58	14.68	3.87		
<i>Oithona</i> sp.							1.68	0.88	0.61	0.31						
<i>Monstrilla</i> sp.			0.24	0.06	0.32	0.08										
<i>Harpacticoida</i>					0.32	0.06	2.98	0.08					0.14	0.04		
<i>Copepodid</i>	2.20	0.69	0.84	0.21	0.84	0.20	0.56	0.29	4.11	2.09	15.54	4.89	15.10	3.98	4.51	7.08

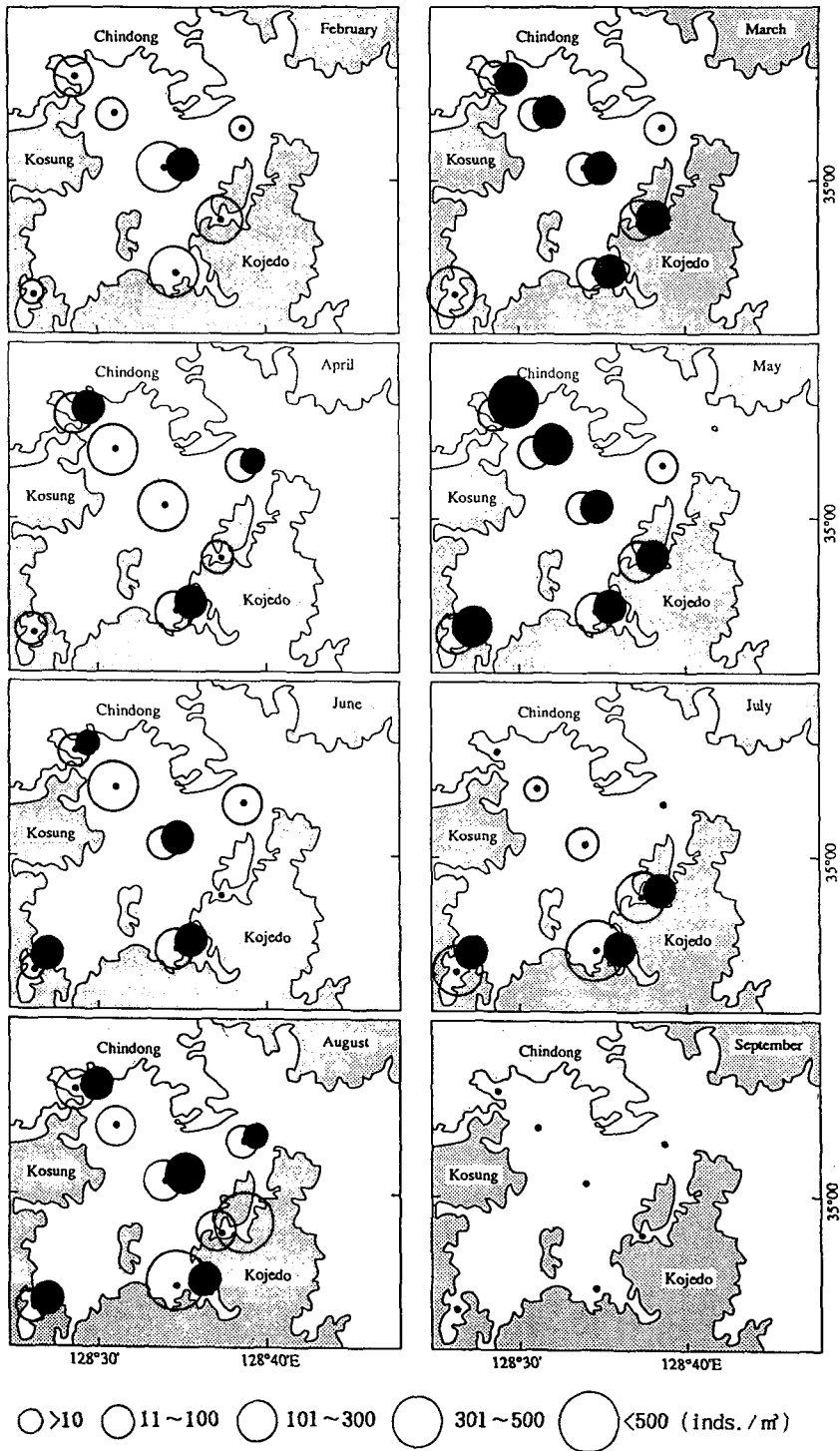


Fig. 6. Monthly distributions of *Acartia omorii* (○) and *Acartia hudsonica* (●) in Chinhae Bay in 1993.

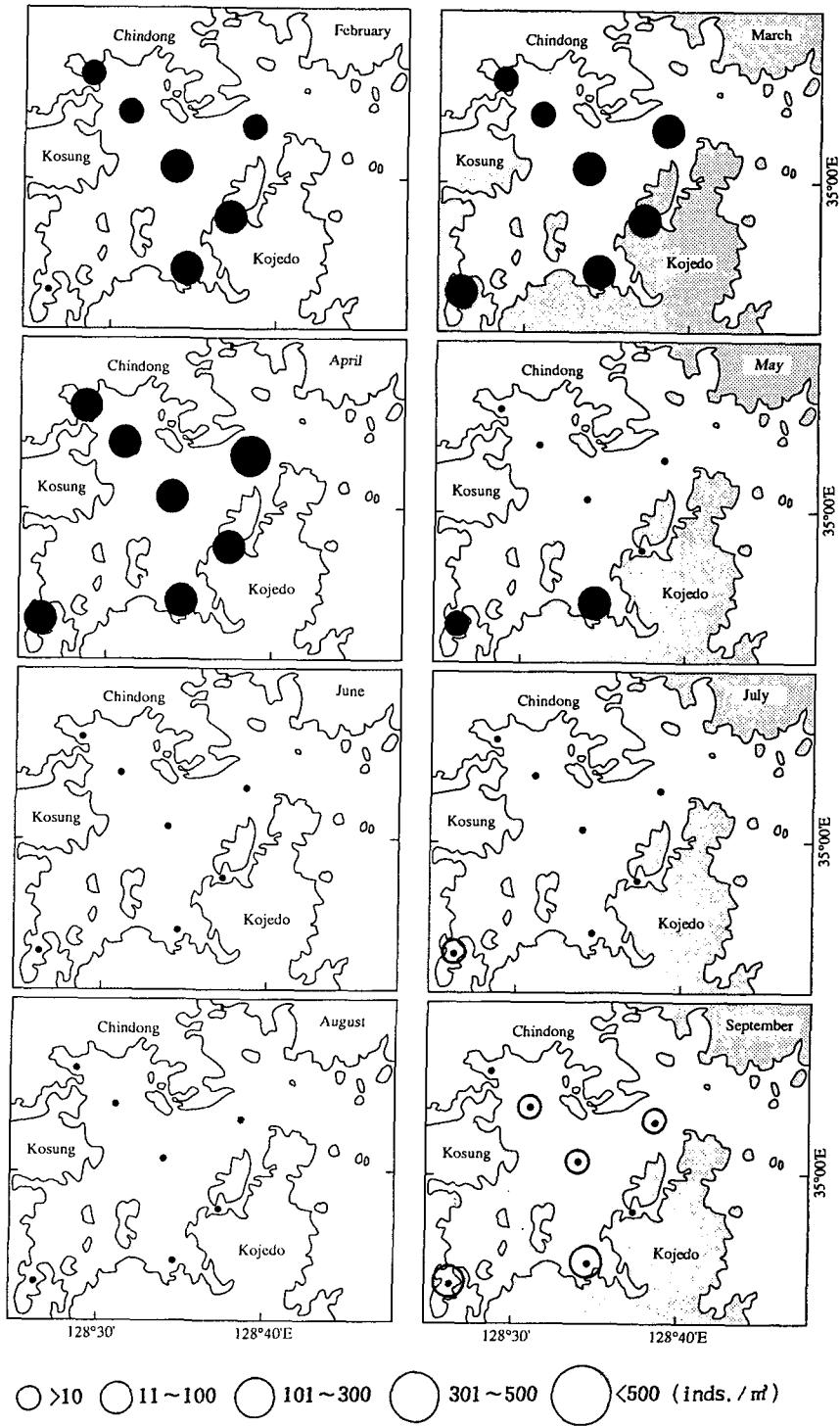


Fig. 7. Monthly distributions of *Centropages abdominalis* (●) and *Acartia erythraea* (○) in Chinhae Bay in 1993.

진해만 수질 환경과 동물플랑크톤 군집 및 요각류 분포 특성

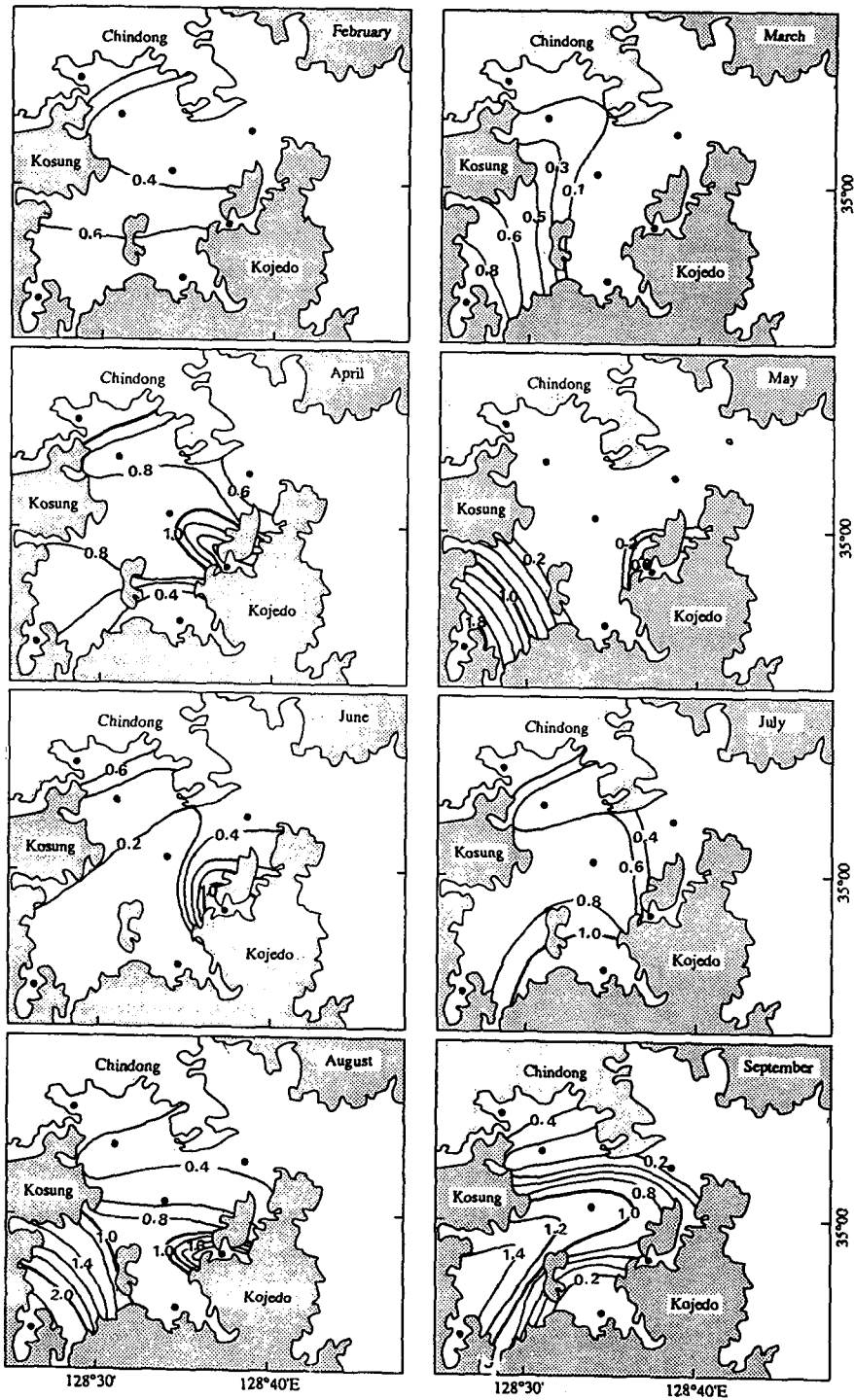


Fig. 8. Monthly distribution of diversity indices based on zooplankton group and copepod species in Chinhae Bay in 1993.

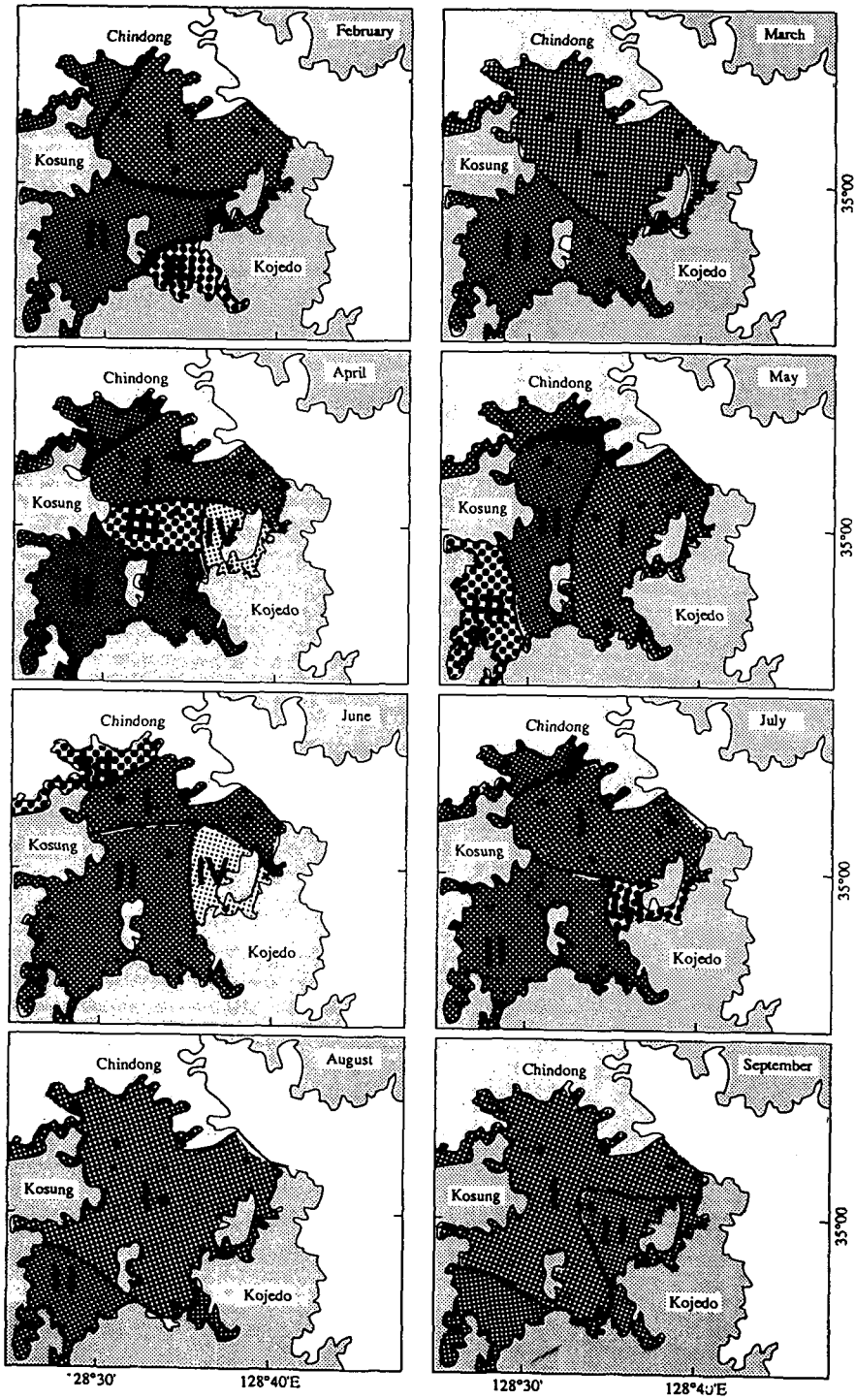


Fig. 9. Areas delineated by cluster analysis based on zooplankton groups and copepod species in Chinhae Bay in 1993.

높은 출현량을 보였다.

다양도와 집괴분석

동물플랑크톤 군집별 자료와 요각류의 종별 자료로써 다양도를 구하였으며 정점간 유사도로써 집괴분석을 하였다. 다양도는 3월에 평균 0.20으로 가장 낮았으며 8월에 0.83으로 가장 높았다 (Fig. 8). 다양도는 2, 3, 7월에는 만입구에서 만내로 가면서 높아지는 경향을 보였으며, 7월에는 가조도 및 진동만에 인접한 정점에서 높은 다양도를 보였다. 4월과 6월에는 진동만과 칠천도 인접 정점을 중심으로 다양도가 높았으며, 5월과 8월에는 원문만과 칠천도 인접 정점을 중심으로 다양도가 높았다.

집괴분석에서는 조사월에 따라 크게 1~4개의 해역으로 대별되어졌다 (Fig. 9). 주로 만입구에서 만내로 가면서 해역이 나뉘어졌으며, 조사시기에 따라 진동만과 가조도~칠천도간 해역이 대별되어졌다. 2월에는 Euclidean 상대거리 0.10에서 1개의 해역으로 대별되었다. 3, 8, 9월에는 각각 Euclidean 상대거리 0.35, 0.70, 0.20에서 2개의 해역으로 대별되었다. 3월에는 만입구에서 만내로 가면서, 8월과 9월에는 북부해역과 남부해역으로 대별되어졌다. 5월과 7월에는 각각 Euclidean 상대거리 0.40, 0.30에서 3개의 해역으로 그리고 4월과 6월에는 4개의 해역으로 대별되었다. 4, 6, 7월에 칠천도 주변해역이 다른 군집상을 가지는 것으로 나타났다.

Table 3. Mean temperature, salinity, COD, diversity and densities of *Acartia omorii*, *Centropages abdominalis* and *Noctiluca scintillans* (1993)

Month	Area	Physio-chemical characters			Density of Indicator species (inds./m ³)			Diversity
		Temp. (°C)	Sal. (‰)	COD (mg/l)	<i>Acartia omorii</i>	<i>Centropages abdominalis</i>	<i>Noctiluca scintillans</i>	
Feb.	I	6.0	32.95	0.80	149.8	8.7	4,565.1	0.3200
	II	5.8	32.92	1.74	253.4	10.4	1,979.8	0.6391
	III	5.9	32.72	0.26	466.9	25.1	1,708.7	0.7847
Mar.	I	7.0	32.90	0.88	59.9	21.8	36,467.2	0.0087
	II	7.4	32.53	0.73	486.9	23.1	2,946.8	0.8982
Apr.	I	10.9	33.04	0.72	194.0	73.1	51,220.9	0.0672
	II	10.3	32.68	0.64	138.4	58.6	6,509.7	0.6603
	III	10.4	32.91	0.61	44.7	22.3	780.4	0.9431
	IV	9.7	32.92	0.50	32.7	42.7	0	1.7985
May	I	14.1	32.99	0.74	86.5	0	95,070.9	0.1533
	II	14.2	32.96	0.93	94.9	0	535.5	0.0032
	III	14.9	32.86	0.98	0	6.6	43.5	1.9378
June	I	18.2	32.75	1.02	306.2	0	32,199.1	0.2549
	II	18.0	32.87	1.13	53.7	0	92,277.8	0.0698
	III	19.2	32.39	1.44	10.0	0	156.4	0.7215
	IV	17.4	32.92	1.10	0	0	887.0	1.0973
July	I	19.0	31.95	1.28	5.3	0	118,220.3	0.5988
	II	20.9	32.33	1.20	430.6	0	4,575.4	0.9731
	III	19.3	31.63	1.04	383.4	0	0	0.3921
Aug.	I	20.7	28.54	1.80	234.5	0	11,543.6	0.5070
	II	21.6	28.48	2.54	141.5	0	62.9	2.0070
Sept.	I	22.0	27.74	1.91	0	0	8,699.2	0.2272
	II	22.5	26.62	1.19	0	0	1,127.3	1.4552

집괴분석에 의해 대별되어진 각 해역의 수온, 염분과 COD 그리고 다양도의 해역별 평균값을 구하였다 (Table 3). 또한, 주요 지표성 요각류 및 *Noctiluca scintillans*의 평균 출현량을 구하였다.

해역 I의 경우, 6월과 7월을 제외한 조사월에 염분이 가장 높았다. *N. scintillans*의 출현량은 6월을 제외한 전 조사월에 가장 높은 반면, 다양도는 5월과 6월을 제외한 전 조사월에 가장 낮았다. *A. omorii*는 4, 6, 8월에는 출현량이 가장 높은 반면 그 외 조사월에는 가장 낮았다.

해역 II의 경우, 대부분의 요인들이 해역 I과 해역 III의 중간값을 보였다. 그러나 6, 7월에 염분이 해역 I과 III보다 높았다. 또한 *A. omorii*의 출현밀도가 3, 5, 7월에 역시 해역 I과 III보다 높았다.

해역 III은 해역 I, II보다 염분농도는 낮은 반면 6월을 제외한 전 조사월에 다양도는 높았다. *N. scintillans*의 출현량은 해역 I, II보다 낮았으며, *A. omorii*와 *C. abdominalis*의 출현량은 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 4월과 6월에만 구분되어진 해역 IV는 다양도는 가장 높았으나 *A. omorii* 및 *N. scintillans*의 출현량은 가장 적었다.

고 찰

환경 변화가 심한 연안 생태계에서 동물플랑크톤의 분포 및 군집 변동은 그 해역의 환경과 밀접한 관계를 보인다. Collins and Williams (1982)는 영국 남서부 연안에 분포하는 동물플랑크톤 군집이 염분의 영향을 강하게 받는다고 보고하였다. 본 연구에서는 진해만에서 출현하는 요각류 중 주요 지표성 종들의 시공간적 분포 및 동물플랑크톤 군집 변동을 연구하였으며, 또한 수질환경과의 관계를 고찰하였다.

수온은 정점간 차이가 1°C~2°C 내외로 매우 작았으나 염분은 만입구에서 만내로 가면서 낮아지는 경향을 보여 외양수의 영향을 받고 있는 것으로 나타났다. 그러나 6월과 7월에는 진동만에서 염분이 가장 낮은 반면 남부해역인 원문~가조도~칠천도간 해역에서 높았다. 이는 하계에 접어들면서 진동만을 통하여 유입되는 강수량이 증대되기 때문이라 사료된다 (Lim, 1993). 또한, 진해만이 가덕수로, 견내량수로 및 칠천

도 북부해역인 진해만 중앙 수로를 통해 해수교환이 이루어진다는 사실을 미루어 볼 때 (Lim, 1993) 고염인 외양수가 원문, 가조도 연안에 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

COD는 하계인 7월에 접어들면서 높아져 8월에 가장 높았다. COD가 높은 7, 8월에는 염분이 급격히 낮아지며, 또한 표·저층간 온도차가 크게 나타났다. 이러한 사실을 고려할 때 강우나 담수유입, 그리고 성층이 COD에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다. COD는 7월을 제외한 전 조사월에 진동만에서 매우 높았다. 진해만의 경우 COD 총발생 부하량의 70%가 마산, 창원, 진해 동북부 지역에서 발생하고 있다 (MOE, 1991). 특히, 진동만 및 원문만은 조류 및 조석 잔차류가 약해 유입된 오염물질의 축적 및 양식장의 자가 오염등으로 인해 수질 및 저질의 오염이 점점 악화되고 있다고 밝혀진 바 있다 (Lim, 1993). 또한, 본 연구에서도 진동만에서 COD가 높은 시기에 염분이 매우 낮다는 사실을 고려할 때 강우 또는 담수 유입이 진동만내에 COD를 높게 하는데 있어 큰 요인으로 작용하는 것으로 판단된다. *Noctiluca scintillans*를 제외한 동물플랑크톤 출현량 역시 진동만 내 가장 안에 위치한 정점 2에서 매우 낮아, 높은 COD가 동물플랑크톤 출현량 변동과 관계가 있음을 시사하였다.

동물플랑크톤 출현량은 *N. scintillans*에 의해 크게 좌우되며, *N. scintillans*를 제외한 평균 출현량은 962.7 inds./m³로 다른 연안해역에 비해 월등히 낮았다. 진해만 및 인접해역에 있어서, 1967년 요각류의 출현량은 170.0~8,984.0 inds./m³였다 (Lee, 1972). 또한, 여수 근해역에서는 *N. scintillans*가 동물플랑크톤 군집중 약 50.0% 내외를 점유하며, 이때 동물플랑크톤 출현량이 6,629.0~12,303.0 inds./m³였다 (Shim and Ro, 1982). *N. scintillans*는 내만성의 전형적인 적조생물로 정체기에 대량 발생하여 적조를 유발하는 종이며, 부영양화로 유기물 합성이 활발할 때 대량 번식하는 종이다 (Shim and Ro, 1982; Shin, 1989). *N. scintillans*의 점유량은 군산 근해역에서는 1~8% (Shim and Lee, 1983), 여수 근해역에서는 63.8% (Shim and Ro, 1982) 그리고 만경 동진강 하구역에서는 최고 57.6% (Suh et al., 1991)의 조성률을 보였다. 그러나 본 연구에서는 최저 57.7%의 조성률을 보인 7월을 제외한 전 조사월에 90% 내외의 높은 조성률을 보였다. 이와같

은 양상은 진해만이 다른 연안해역에 비해 부영양화가 심하다는 사실을 잘 입증하고 있다.

Lee (1972)는 진해만 및 인접 연안 해역 중 요각류의 출현량이 진동만에서 가장 높다고 보고하였다. 그러나, 본 연구에서 진동만내 가장 안에 위치한 정점 2에서는 출현량이 적었으며 진동만 바깥에 위치한 정점 3에서 조금 높았다. 이는 진동만에 인접한 육지에서 유입되는 유기물 오염 부하량이 증가한 결과로 판단된다. 진동만에서 염분이 낮고 COD가 높은 현상도와 이와 같은 사실을 잘 입증하고 있다.

Yoo and Kim (1987)은 진해만 일대에서 지각류는 동계에는 출현하지 않으며, 7월에 가장 많은 양이 출현한다고 보고한 바 있다. 또한, 여수 근해에서는 8월에 다량 출현하였으며 요각류 다음으로 우점하였다 (Shim and Ro, 1982). 본 연구에서도 역시, 7월에 가장 많이 출현하였으며, 요각류보다도 우점적인 것으로 나타났다. 따라서 진해만에서는 다른 연안 생태계에 비해 *N. scintillans*의 점유율이 상대적으로 높으나, 그 외에 요각류와 지각류가 우점적으로 나타나 연안 생태계의 일반적인 양상을 나타내었다.

진해만 및 인접해역에서 1967년에 채집된 동물플랑크톤 중 요각류는 35속 80종이 출현하였으며, 이 중 *Oithona similis*, *Paracalanus indicus*, *Calanus sinicus*, *Corycaeus affinis* 및 *Centropages abdominalis*가 주 조성종이었다 (Lee, 1972). 그 후 Park and Lee (1982)는 남해연안에서 출현하는 요각류의 종수가 35속 63종이라고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 6~11종의 요각류가 출현하였으며 주 조성종은 *A. omorii*인 것으로 나타났다. 이와 같이 출현종 수에 차이가 있는 것은 Lee (1972)와 Park and Lee (1982)가 진해만과 마산만을 중심으로 조사하였으나, 외양에 인접되어 있는 해역에서 많은 종들이 출현하였기 때문이라 판단된다.

진해만에서 다양도는 3월에 평균 0.20으로 가장 낮았으며 7월에 0.83으로 가장 높았다. 이와 같이 하계인 7월에 다양도가 높은 것은 난류 외양수가 유입되면서 난류성 종들이 본 연구해역에서 출현하였기 때문인 것으로 판단된다. 이와 같은 사실은 난류외양성 종인 *Eucalanus* 유생의 출현에서도 잘 입증된다. Lee (1972) 또한, 난류외양수의 영향을 받는 하계가 되면서 요각류의 출현종 수가 많아진다고 밝힌 바 있다. 또한, *N. scintillans* 점유율이 다른 조사월에 비해 7월에 월

등히 낮아져 *N. scintillans*의 우점도가 상대적으로 낮아지므로 해서 다양도가 높아진 것으로 판단된다.

진해만은 만입구에서 내만으로 가면서 동물플랑크톤 군집상에 의해 해역이 대별되어졌다. 전 조사월에 대별되어진 해역 I은 만입구 및 중앙부로서 6월과 7월을 제외한 전 조사월에 염분이 높았다. 그리고 *N. scintillans*의 출현량도 높았다. 이에 반해 다양도는 매우 낮았다. *N. scintillans*가 부영양화로 유기물 합성이 활발할 때 대량번식하는 종이라는 사실 (Shim and Ro, 1982; Shin, 1989)을 고려할 때, 해역 I은 마산만 및 인접지역으로부터 유기 오염물질의 유입이 많은 곳으로 판단된다. 또한, 만 중앙부에는 수산생물의 수하식 양식장이 산재하여 있어 이들에 의한 영향도 큰 것으로 사료된다. Lim and Hong (1994)은 해역 I이 외해수와외의 해수교환이 그다지 원활하지 못하고 진해만의 고유한 환경을 형성하고 있는 해역으로써 저서 환경이 호전되고 있다고 밝혔다.

해역 II는 주로 견내량수로가 있는 진해만 서부내만 해역으로 염분 및 *N. scintillans* 출현량은 해역 I보다 낮은 편이었으며 다양도는 높았다. 다양도가 높은 것은 비록 이 해역이 해역 I보다 외양수의 영향은 적게 받으나, 해역 I에서 높은 출현량을 나타내었던 *N. scintillans*의 출현량이 적어진 결과, 상대적으로 다양도가 높아진 것으로 판단된다.

해역 III과 IV는 특정시기에 대별되어지는 해역으로 주로 진동만 또는 칠천도 주변해역으로서 시기에 따라 물리, 생물학적 특징이 매우 달랐다. 이는 이 해역이 주변 육상환경에 의해 강하게 영향을 받기 때문이라 판단된다. 특히, 진동만은 인접한 육지로부터 유입되는 유기물이 시기에 따라 매우 많으며 해수유동이 미약해 정체된 해역이다 (Lim and Hong, 1994). 또한, 하계 강우의 영향으로 염분이 최저 26.04‰까지 내려가는 양상을 보였다.

요 약

진해만 해역에 분포하는 동물플랑크톤 군집 및 지표성 요각류의 시공간적 변동을 연구하였으며 이들의 변동양상과 해양 환경과의 관계를 밝혔다.

동물플랑크톤과 수온, 염분 그리고 화학적 산소요

구량(COD)을 진해만내 7개의 정점에서 1993년 2~9월에 매월 1회씩 조사하였다. 동물플랑크톤은 NOR-PAC net로 수직채집하였다.

염분은 8월과 9월에 30.00‰ 이하로 급격히 낮아졌으며 COD는 8월과 9월에 다른 조사월에 비해 월등히 높았다. COD는 만입구에서 만내로 가면서 높아지는 경향을 보였으나 염분과 동물플랑크톤 출현량은 낮아지는 경향을 보였다. 특히, 진동만에서 COD가 높았으며, 염분과 동물플랑크톤 출현량은 낮았다.

동물플랑크톤은 총 7~14개 군이 출현하였으며, 이 중 *Noctiluca scintillans*가 평균 90.6%의 조성률로써 최우점 동물군이었으며 이외에 지각류(Cladocera)와 요각류(Copepoda)가 우점종으로 나타났다. 요각류는 월별로 총 6~10개 종이 출현하였으며, 3월과 9월을 제외한 전 조사월에 *Acartia omorii*와 *Acartia hudsonica*가 주요 우점종이었다.

다양도는 만 입구에서 만내로 가면서 높아지는 경향을 보였으며, 2월에 가장 낮고 7월에 가장 높았다. 집괴분석결과 2~4개의 해역으로 대별되었다. 만입구에서 만내로 가면서 해역이 나뉘어졌으며, 조사월에 따라 칠천도~거제도간 해역과 진동만 해역이 다른 군집상을 가지는 것으로 나타났다. 만입구 해역인 해역 I은 난류외양수의 영향을 받는 해역이며, 해역 II는 해역 I 보다는 외양수의 영향을 적게 받는 해역인 것으로 나타났다. 해역 III, IV는 주변의 육상환경에 크게 영향을 받는 해역인 것으로 밝혀졌다.

참 고 문 헌

- Collins, N.R. and R. Williams. 1982. Zooplankton communities in the Bristol Channel and seven estuary. *Mar. Ecol.*, 9, 1~11.
- Kang, Y.S. and S.S. Lee. 1990. Taxonomic re-examination and distribution of copepods known as *Acartia clausi* in the coastal waters of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 23(5), 378~384 (in Korean).
- Kim C.K. and P.Y. Lee. 1994. Water mass structure and dissolved oxygen distribution in Chinhae Bay. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27(5), 572~582 (in Korean).
- Lance, G.N. and W.T. Williams. 1967. A general theory for classificatory sorting strategies. I. Hierarchical systems. *Computer. J.*, 9, 373~380.
- Lee, S.S. 1972. Distribution of copepods in Chinhae Bay and its adjacent region. *Bull. Nat'l Fish. Res. Dev. Agency, Korea*, 9, 7~12 (in Korean).
- Lim, H.S. 1993. Ecology on the macrozoobenthos in Chinhae Bay of Korea. Ph.D. Thesis, Nat'l. Fish. Univ. Pusan, 292 pp. (in Korean).
- Lim, H.S. and J.S. Hong. 1994. An environmental assessment based on the benthic macrofauna in Chinhae, Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27(5), 659~672 (in Korean).
- MOE (Ministry of Environment). 1991. Report on the pollution in Chinhae Bay. *Tech. Rep.*, 502 pp. (in Korean).
- Park, J.S. 1980. Studies on seasonal changes in population and species composition of phytoplankton and their effects on oysters and local fishery resources as food organisms and as a cause of red tide in the South coast of Korea. *Bull. Nat'l Fish. Res. Dev. Agency, Korea*, 23, 7~157 (in Korean).
- Park, J.S. and J.D. Kim. 1967. A study on the "Red-water" caused at Chinhae Bay. *Bull. Nat'l Fish. Res. Dev. Agency, Korea*, 1, 65~79 (in Korean).
- Park, J.S. and S.S. Lee. 1982. Distribution and composition of chaetognaths and copepods and their characteristics as biological indicators to assess environmental pollution levels in the South coast of Korea. *Bull. Nat'l Fish. Res. Dev. Agency, Korea*, 28, 89~126 (in Korean).
- Pielou, E.C. 1974. Population and community ecology, principles and methods. Gordon and Breach ed. Science Pub., Inc., 424 pp.
- Shim, J.H. and T.S. Lee. 1983. A study on the zooplankton off the coast of Gusan, Korea. *Proc. Coll. Nat'l Sci., Seoul Nat'l Univ.*, 8(1), 12~140 (in Korean).

- Shim, J.H. and I. Ro. 1982. The composition and abundance distribution of zooplankton in the vicinity of Yeosu, Korea. Proc. Coll. Nat'l Sci., Seoul Nat'l Univ., 7(2), 165~183 (in Korean).
- Shin, Y.G. 1989. A study on the planktonic production structure and energy flux in the pelagic ecosystem of Chonsu Bay, Korea. Ph.D. Thesis, Seoul Nat'l. Univ., 292 pp. (in Korean).
- Suh, H.L., H.Y. Soh and S.S. Cha. 1991. Salinity and distribution of zooplankton in the estuarine system of Mankyong River and Dongjin River. J. Oceanol. Soc. Korea, 26(3), 181~192 (in Korean).
- 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.
- Yoo, K.I., H.K. Hue and W.C. Lee. 1991. Taxonomical revision on the genus *Acartia* (Copepoda: Calanoida) in the Korean waters. Bull. Korean Fish. Soc., 24(4), 255~265 (in Korean).
- Yoo, K.I. and S.H. Kim. 1987. Seasonal distribution of marine cladocerans in Chinhae Bay, Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 22(2), 80~86.
- Yoo, K.I. and J.H. Lee. 1979. Environmental studies of the Jinhae Bay 1. Annual cycle of phytoplankton population, 1976~1978. J. Oceanol. Soc. Korea, 14(1), 26~31.
- Yoo, K.I. and J.H. Lee. 1980a. Environmental studies of the Jinhae Bay 2. Environmental parameters in relation to phytoplankton population dynamics. J. Oceanol. Soc. Korea, 15(1), 62~65.
- Yoo, K.I. and J.H. Lee. 1980b. Environmental studies of the Jinhae Bay 3. Ecological succession of phytoplankton population, 1974~1980. J. Oceanol. Soc. Korea, 15(2), 100~107.

1995년 8월 21일 접수

1996년 5월 4일 수리

Appendix 1. Temperature, salinity and COD of surface and bottom at station in February~September 1993

Sampling layers	1		2		3		4		5		6		7	
	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom	Surface	Bottom
Temp.(°C)	6.23	6.21	5.46	5.51	6.00	6.02	5.92	5.90	5.91	5.85	6.06	5.89	6.06	5.91
Feb. Sal.(‰)	33.02	33.03	33.21	32.92	32.94	32.93	32.89	32.89	32.63	32.78	32.68	32.75	33.15	32.81
COD(mg/l)	0.11	0.36	1.01	8.45	0.21	2.99	0.19	0.91	0.24	0.16	0.32	0.19	0.39	0.16
Temp.(°C)	7.06	7.67	7.54	6.84	6.70	7.13	7.13	7.10	7.01	6.96	7.18	6.16	7.92	6.94
Mar. Sal.(‰)	33.73	33.15	32.54	32.81	32.56	32.81	32.65	32.80	32.91	32.95	32.63	32.87	32.38	32.67
COD(mg/l)	0.67	0.75	0.92	0.92	1.27	1.02	0.95	1.80	0.98	0.85	0.53	0.83	0.80	0.65
Temp.(°C)	11.10	10.94	11.97	9.86	11.89	9.90	10.83	10.15	10.34	9.10	10.59	8.11	11.83	9.96
Apr. Sal.(‰)	33.27	33.29	32.48	32.76	32.78	32.81	32.87	32.94	32.86	32.97	32.86	32.89	32.70	32.37
COD(mg/l)	0.50	0.57	0.90	0.90	0.90	0.88	0.58	0.63	0.55	0.45	0.37	0.40	0.65	0.63
Temp.(°C)	14.54	14.31	15.89	13.80	15.62	12.86	15.12	12.61	14.90	12.91	15.02	12.61	16.02	13.85
May Sal.(‰)	33.08	33.38	31.99	33.02	32.85	33.07	33.09	33.24	32.95	33.12	32.88	33.09	32.50	33.22
COD(mg/l)	1.15	0.95	1.00	0.65	1.15	0.70	0.75	0.40	0.90	0.32	0.85	0.40	1.00	0.95
Temp.(°C)	19.21	17.02	21.17	17.23	20.22	16.45	19.42	15.34	19.23	15.72	19.37	15.05	20.62	18.26
June Sal.(‰)	32.80	33.01	32.10	32.68	32.64	32.52	32.84	32.94	32.91	32.93	32.90	32.89	32.81	32.80
COD(mg/l)	0.93	0.73	1.75	1.12	1.25	1.15	1.27	1.50	1.22	0.97	1.02	0.85	1.12	0.92
Temp.(°C)	19.94	18.00	24.14	18.48	22.16	16.57	21.24	16.30	21.60	18.38	22.57	16.52	24.34	19.39
July Sal.(‰)	-	-	30.81	32.00	30.85	32.99	31.24	32.71	32.75	-	32.57	32.31	32.41	33.85
COD(mg/l)	1.47	0.64	2.29	0.68	1.57	0.73	2.05	1.19	0.87	1.37	0.94	1.91	0.69	0.66
Temp.(°C)	22.71	19.35	23.45	19.28	22.16	18.45	23.36	17.31	21.78	19.01	22.13	18.77	23.81	21.23
Aug. Sal.(‰)	28.05	30.31	23.31	28.76	28.51	30.37	28.27	30.34	29.07	30.42	28.26	29.17	24.92	29.49
COD(mg/l)	1.49	1.72	3.59	1.59	2.57	1.28	2.42	1.05	1.83	1.69	0.43	1.87	4.77	1.87
Temp.(°C)	23.67	19.96	24.30	21.54	23.63	19.41	23.05	18.75	23.23	20.67	24.08	19.35	24.14	22.20
Sept. Sal.(‰)	28.21	28.74	26.38	28.23	27.00	28.77	26.93	27.90	26.89	28.55	26.17	28.34	24.06	26.95
COD(mg/l)	2.02	0.75	3.91	1.97	1.87	0.88	1.27	1.24	1.12	0.99	2.18	1.60	1.37	1.25