

광양만 동물플랑크톤 군집의 계절 변화

장민철 · 장풍국 · 신경순* · 박동원 · 장 만

한국해양연구원 남해연구소

Seasonal Variation of Zooplankton Community in Gwangyang Bay

Min-Chul Jang, Poong-Guk Jang, Kyoungsoon Shin*,
Dong-Won Park and Man Chang

South Sea Institute, KORDI, 391 Jangmok-ri, Jangmok-myon, Koje 656-830, Korea

Abstract - This study was conducted bimonthly from June 2001 to June 2003 to investigate the seasonal variation of the zooplankton community in Gwangyang Bay. Zooplankton were collected at 9 stations using a NORPAC net from surface layer. The zooplankton community consisted of 47 taxa and the mean abundance was 6,205 inds. m^{-3} during the survey period. The maximum abundance was observed to be 26,060 inds. m^{-3} in June 2002 and the minimum in August 2001 with 630 inds. m^{-3} . Copepods were the predominant constituent, which comprised 4.6~84.1% (mean 38.2%) of the total zooplankton abundance. Dominant species of copepods were *Acartia omorii*, *Acartia erythraea*, *Centropages abdominalis*, *Paracalanus parvus*. *Paracalanus parvus* dominated from June 2001 to December 2002. A red tide causative dinoflagellate, *Noctiluca scintillans*, dominated from June 2002 to February 2003. *Acartia omorii* and *Centropages abdominalis* dominated in winter and spring seasons. While, *Acartia erythraea* dominated in summer and fall seasons. In June and August, Cladocerans and Cirriped larvae dominated. The abundance of zooplankton according to the tidal cycle showed considerable fluctuations with a range of 2,768~15,856 inds. m^{-3} (\approx 5.7 times).

Key words : Gwangyang, zooplankton, copepods, tidal cycle

서 론

남해안의 중앙부에 위치한 광양만은 동쪽으로는 남해도, 서쪽으로는 여수반도, 북쪽으로는 섬진강 하구를 끼고 있어 해수와 담수가 섞이는 천혜의 자연조건으로 인해 예로부터 패류의 양식장과 어류의 산란장으로 널리 알려져 왔으며 우리나라에서 김이 가장 먼저 생산되기

시작한 곳이기도 하다. 그러나 1969년부터 가동하기 시작한 여천 석유화학공업 단지과 1987년 광양 제철소가 완공되면서 광양만의 공업화는 가속화 되었으며 이로 인해 광양만의 해양환경은 크게 변화되었다. 그리고 부두 건설을 위한 매립과 대형 선박들의 안전항로 확보를 위한 준설공사는 현재까지도 진행 중에 있으며(위 등 1992; 최 등 2003a), 이러한 퇴적환경의 변화는 광양만의 저서생물 군집의 변화를 야기시켰다(신과 고 1990; 최 등 2003b).

해양생태계내에서 동물플랑크톤은 박테리아, 식물플랑

* Corresponding author: Kyoungsoon Shin, Tel. 055-639-8510, Fax. 055-639-8509, E-mail. ksshin@kordi.re.kr

크톤의 주 포식자이며 유기에너지를 어류와 같은 해양 유영 동물로 전달하는 일차 소비자 역할을 담당하는 주요한 요소이다. 동물플랑크톤은 중간경쟁이나 하위영양 단계인 식물플랑크톤과 상위영양단계인 치자어와의 피식

의 상호작용과 같은 생물학적 요인 (Parsons *et al.* 1984; Hunter and Price 1992) 뿐만 아니라, 유영력이 약하기 때문에 수괴의 혼합과 같은 물리적인 현상 (Poulet and Williams 1991) 등과 같은 다양한 해양생태 환경에 영향

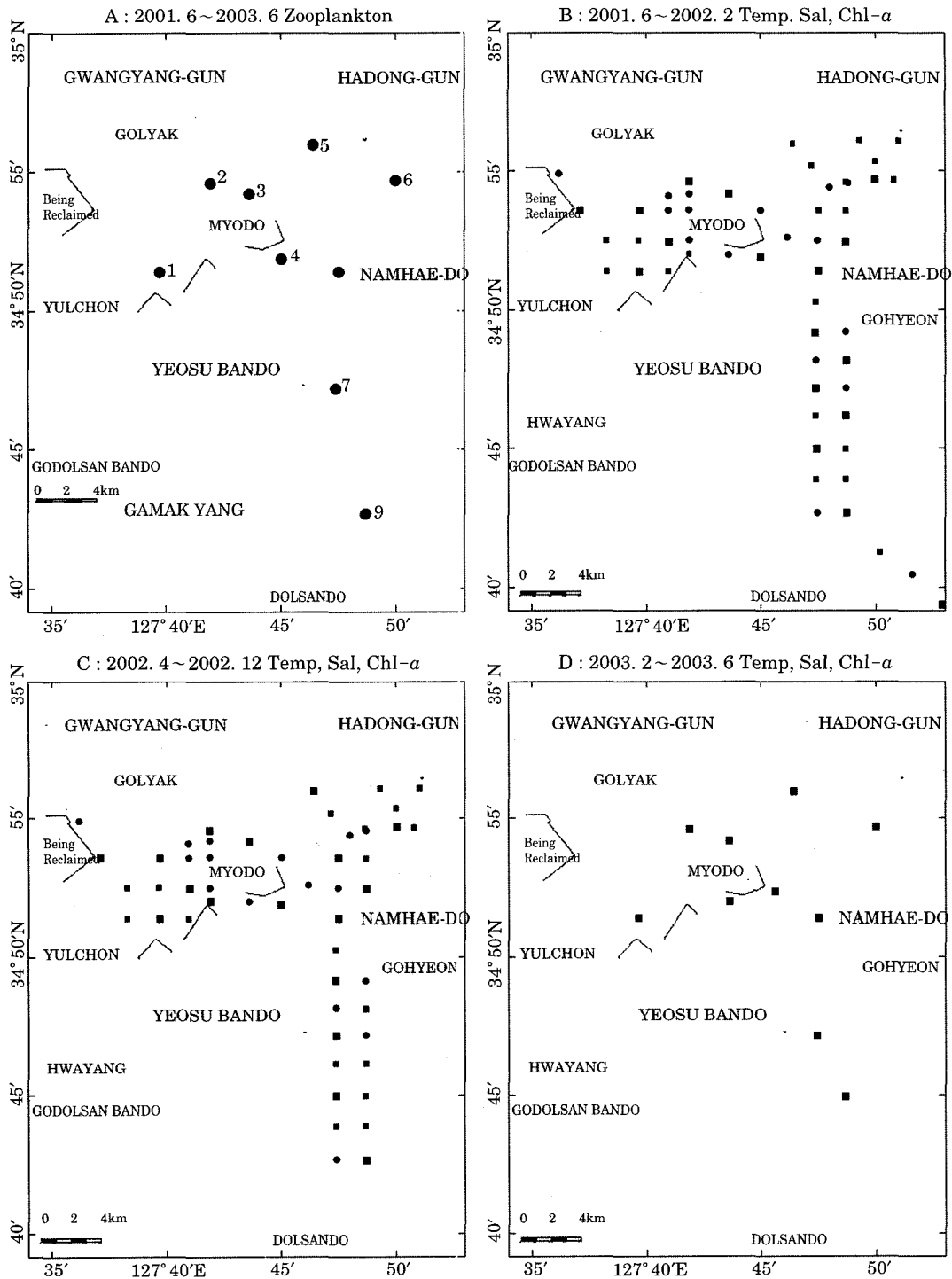


Fig. 1. A map showing the sampling stations of zooplankton (A) and temperature, salinity, chl-a (B~D, ●: Temp, Sal ■: Temp, Sal, Chl-a) in Gwangyang Bay.

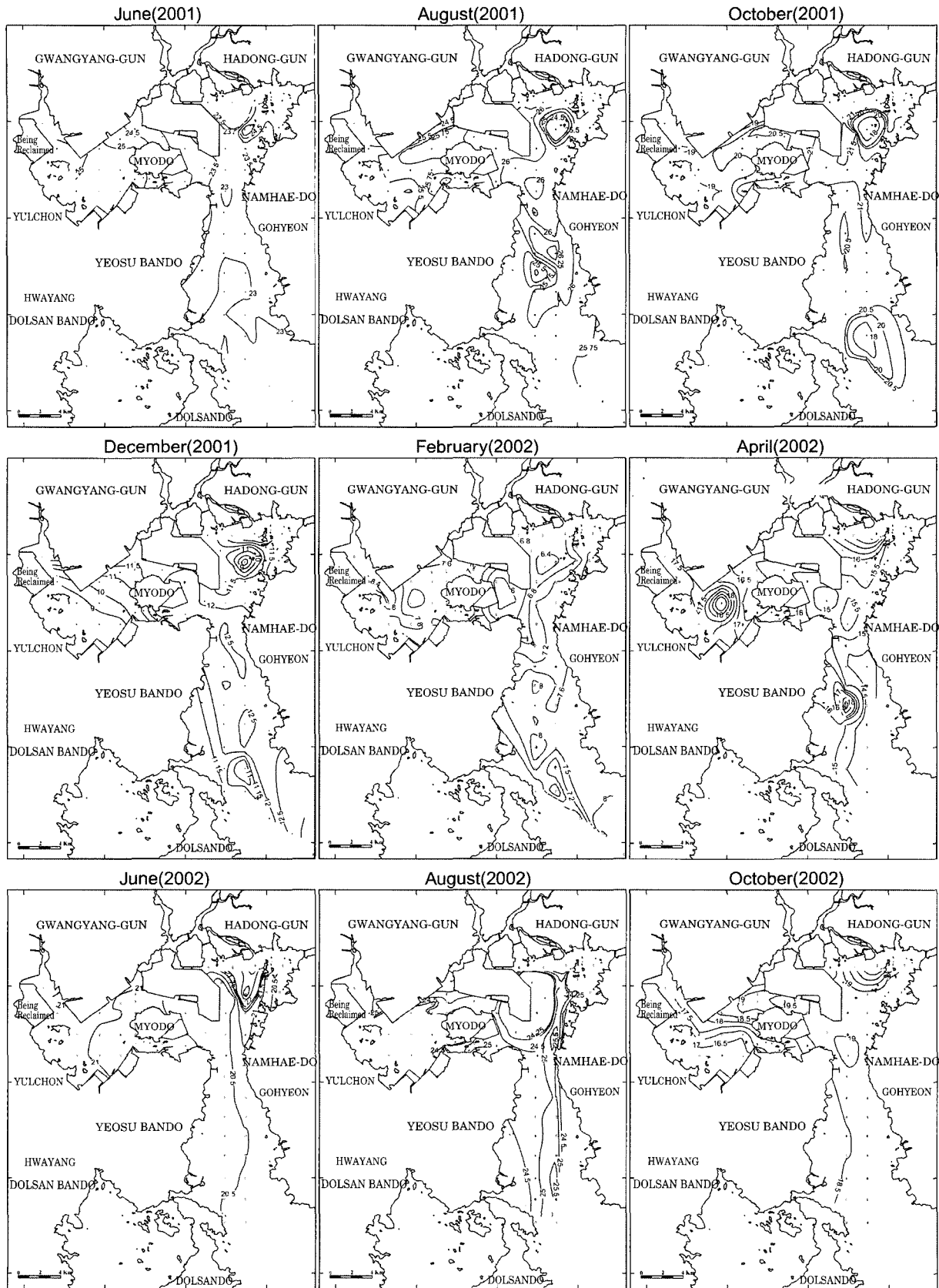


Fig. 2. Seasonal variation of surface water temperature (°C) at each station.

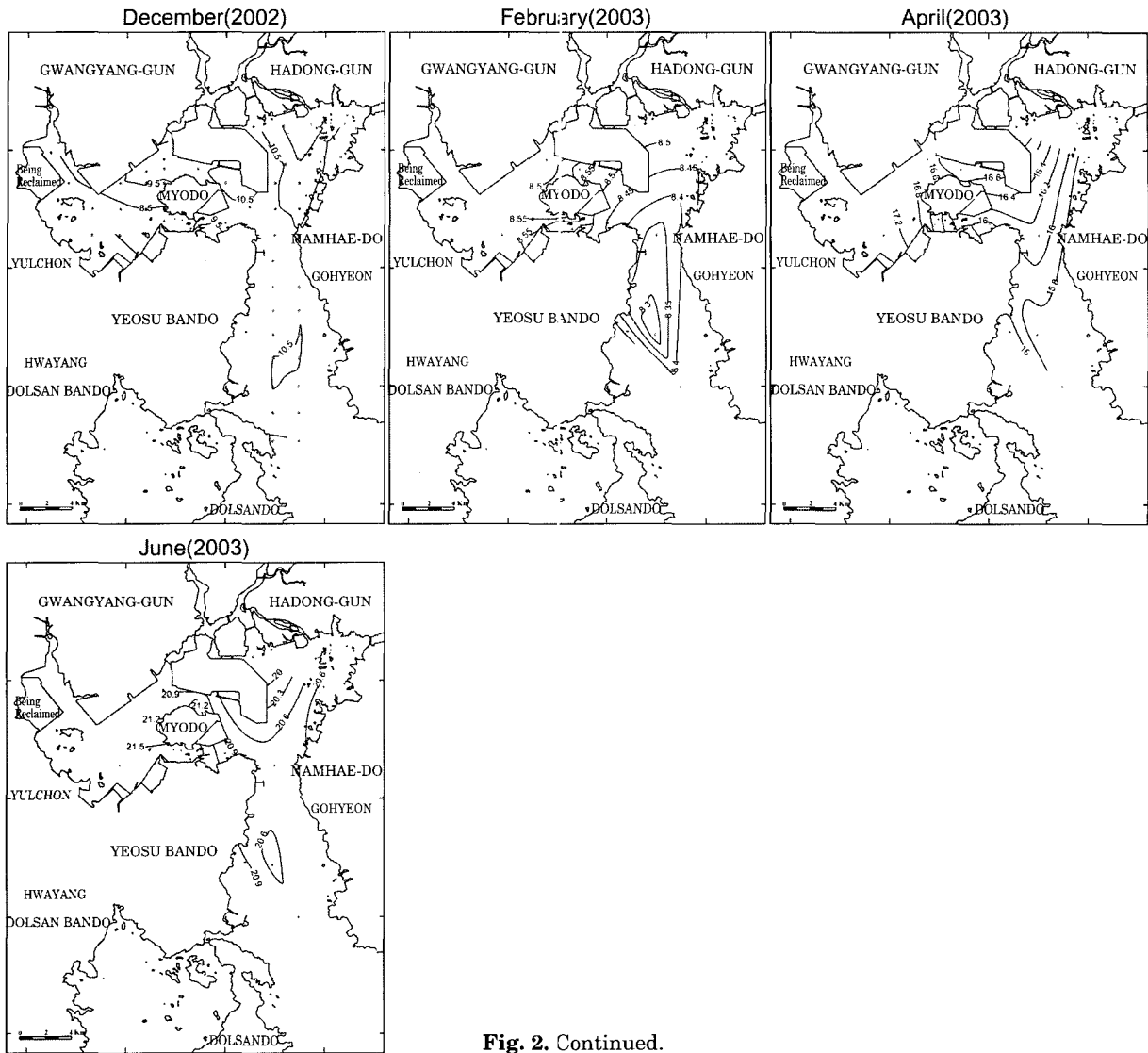


Fig. 2. Continued.

을 받는 것으로 알려져 있다. 생물군집과 물리화학적 해양환경의 변화가 일어난 광양만에서 동물플랑크톤 개체군의 변동양상을 밝히는 작업은 우리나라 연안에서 이미 환경의 변화가 일어났거나 또는 현재 진행되고 있는 해역의 동물플랑크톤 군집을 이해하는 데 크게 기여할 것이다(서와 서 1993).

그동안 광양만에서 동물플랑크톤에 대한 연구는 요각류의 계절변동(서와 서 1993), 소형동물플랑크톤에 대한 연구(차와 박 2000), 동물플랑크톤의 생태연구(김 1984; 윤 1998; 송 2002) 등으로 빈약한 상태이다.

본 연구에서는 해양수산부가 남해특별관리해역으로 지정한 광양만 해역에서 효과적으로 해역의 환경을 관리할 수 있고 종합적인 생태환경을 파악할 수 있는 해양생태환경도 작성을 위한 기초 자료의 일환으로 동물플랑크톤

군집구조를 분석하고 시공간적인 분포특성을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

광양만 동물플랑크톤의 채집은 2001년 6월부터 2003년 6월까지 격월 간격으로 총 13회에 걸쳐 9개 정점에서 실시되었으며(Fig. 1), 시료는 NORPAC net(구경 60 cm, 망목 300 μm)를 이용하여 표층에서 약 5~10분간 2노트의 속도로 예인하여 채집하였다. 조사해역의 수온과 염분을 파악하기 위하여 CTD(Idronaut Co., OCEAN SEVEN 319)를 사용하여 각 정점의 표층에서 수온과 염분을 측정하였으며, 2001년 6월부터 2002년 2월까지의 53개 정점, 2002년 4월부터 12월까지의 50정점, 2003년 2월부터

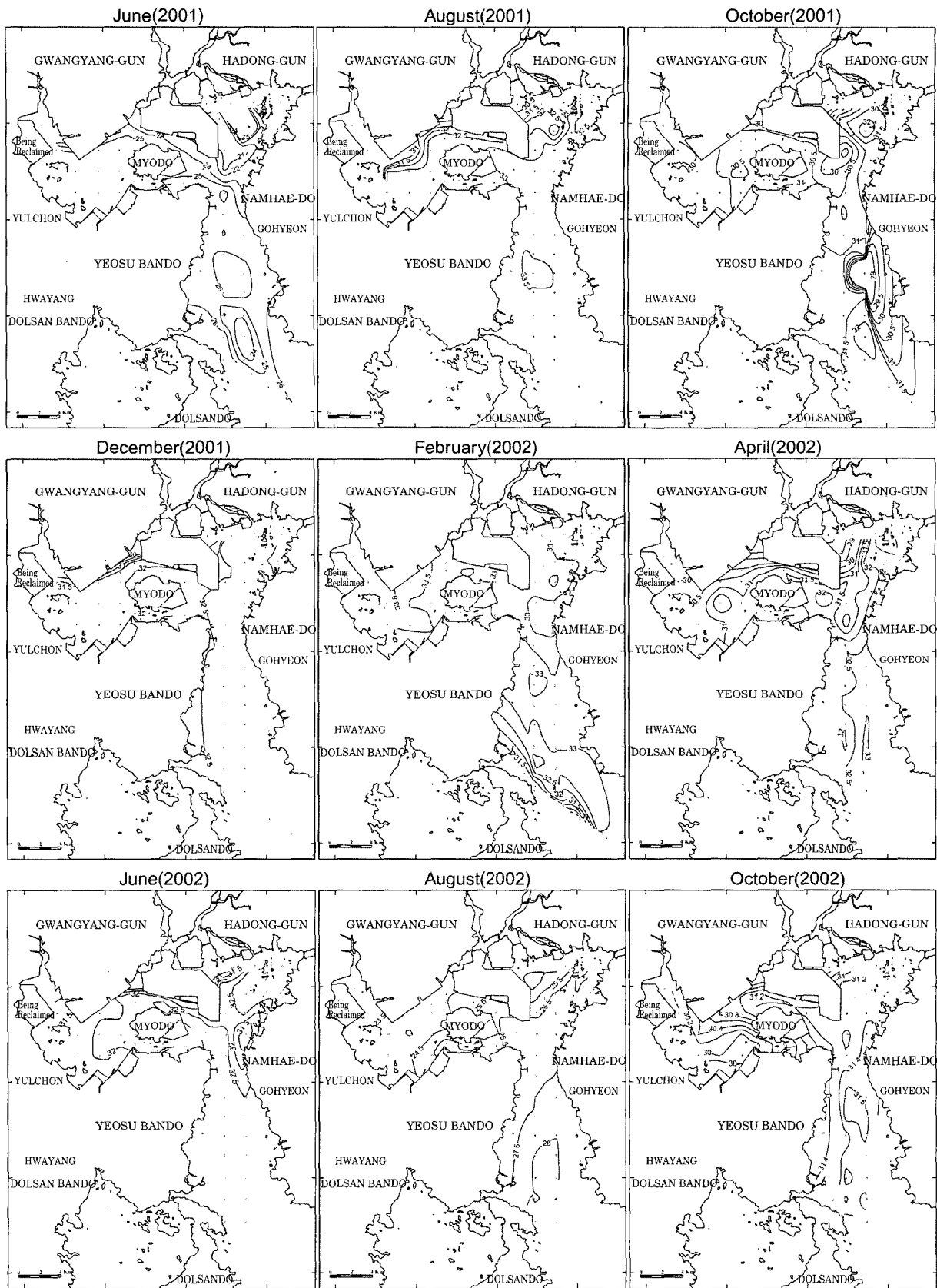


Fig. 3. Seasonal variation of surface water salinity (psu) at each station.

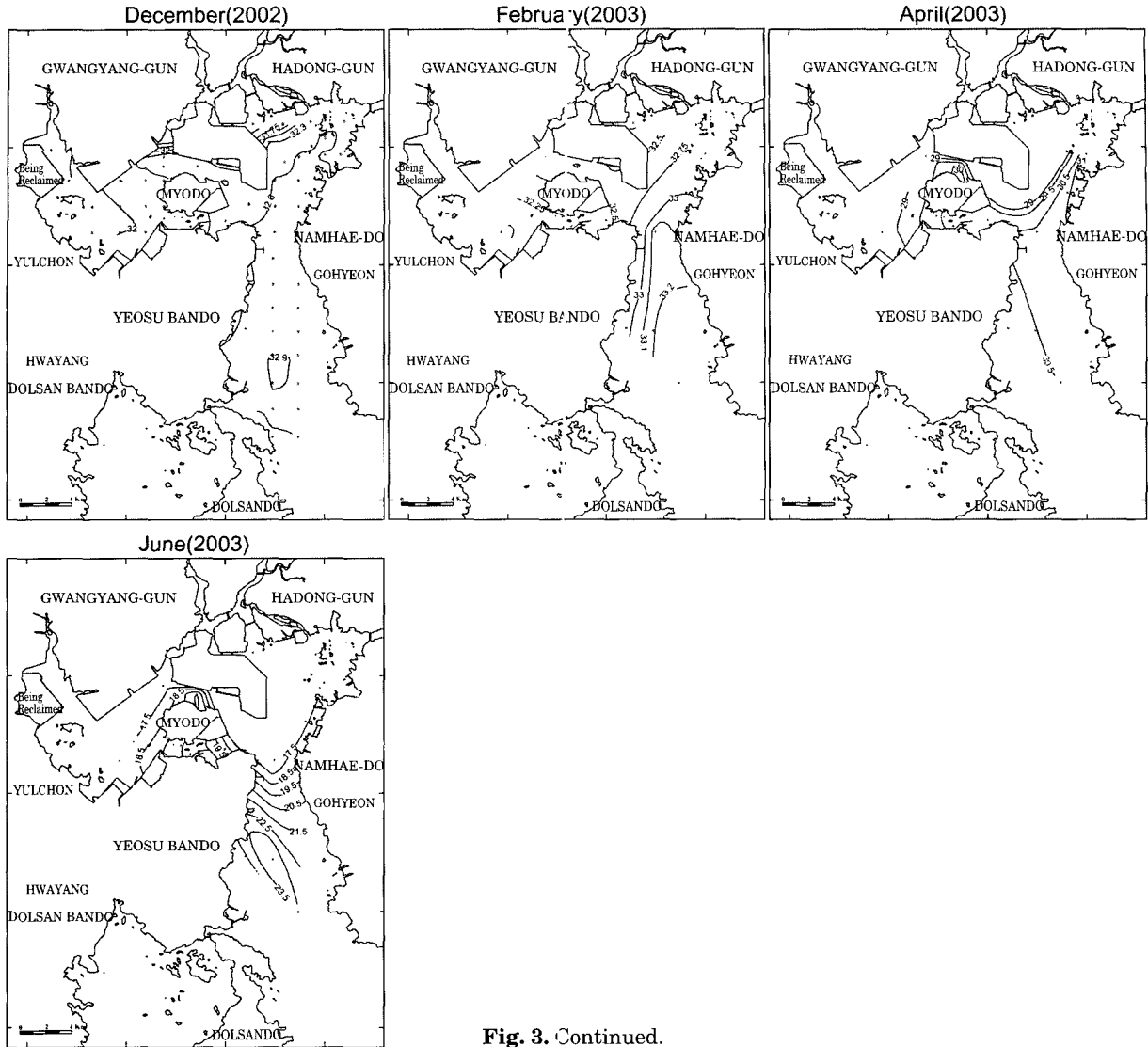


Fig. 3. Continued.

6월까지의 10개 정점에서 실시되었다.

엽록소-a (chl-a)는 2001년 6월부터 2002년 2월까지 20개 정점, 2002년 4월부터 12월까지는 17정점, 2003년 2월부터 6월까지의 10개 정점의 표층에서 해수를 채취하여 이 중 500~1,000 ml의 해수를 GF/F(Whatman Co.)로 거른 다음 바로 90% 아세톤 용액에 담구어 24시간 동안 용출시켰다. 추출된 용액중에 섞여 있는 입자를 제거하기 위해 원심분리 시킨 후 상등액을 취하여 UV-spectrophotometer (HP 8453)를 이용하여 흡광도를 측정하여 엽록소-a 농도를 계산하였다(Parsons et al. 1984).

조석 주기에 따른 동물플랑크톤의 변화양상을 조사하기 위하여 정점 5에서 2003년 8월 5일 오전 10시 40분부터 8월 6일 오전 10시 40분까지 2시간 간격으로 13회에 걸쳐 3회 반복 수직채집하였다. 환경변화 자료를 얻기

위해 표층과 저층에서 수온과 염분 그리고 엽록소-a를 측정하였다.

동물플랑크톤 시료는 NORPAC net(구경 60 cm, 망목 300 μm)를 이용하여 표층에서 약 5~10분간 2노트의 속도로 예인하여 채집하였다. 채집된 동물플랑크톤을 현장에서 5% 중성포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 정량분석을 위하여 네트 설치한 유속계(Hydro-Bios Kiel 438115)를 부착하여 여과 해수량을 측정하였다. 채집된 시료는 우점종 개체수가 100개체 이상 계수될 정도의 시료를 취하여 Bogorove 계수판에서 해부현미경(Stemi SV11 ZEISS Co.)과 광학현미경(Axioskop ZEISS Co.) 하에서 동정 및 계수하여 단위체적 당 개체수(ind. m⁻³)로 환산하였다.

분류된 동물플랑크톤 군집 자료에 의해 종다양성지수

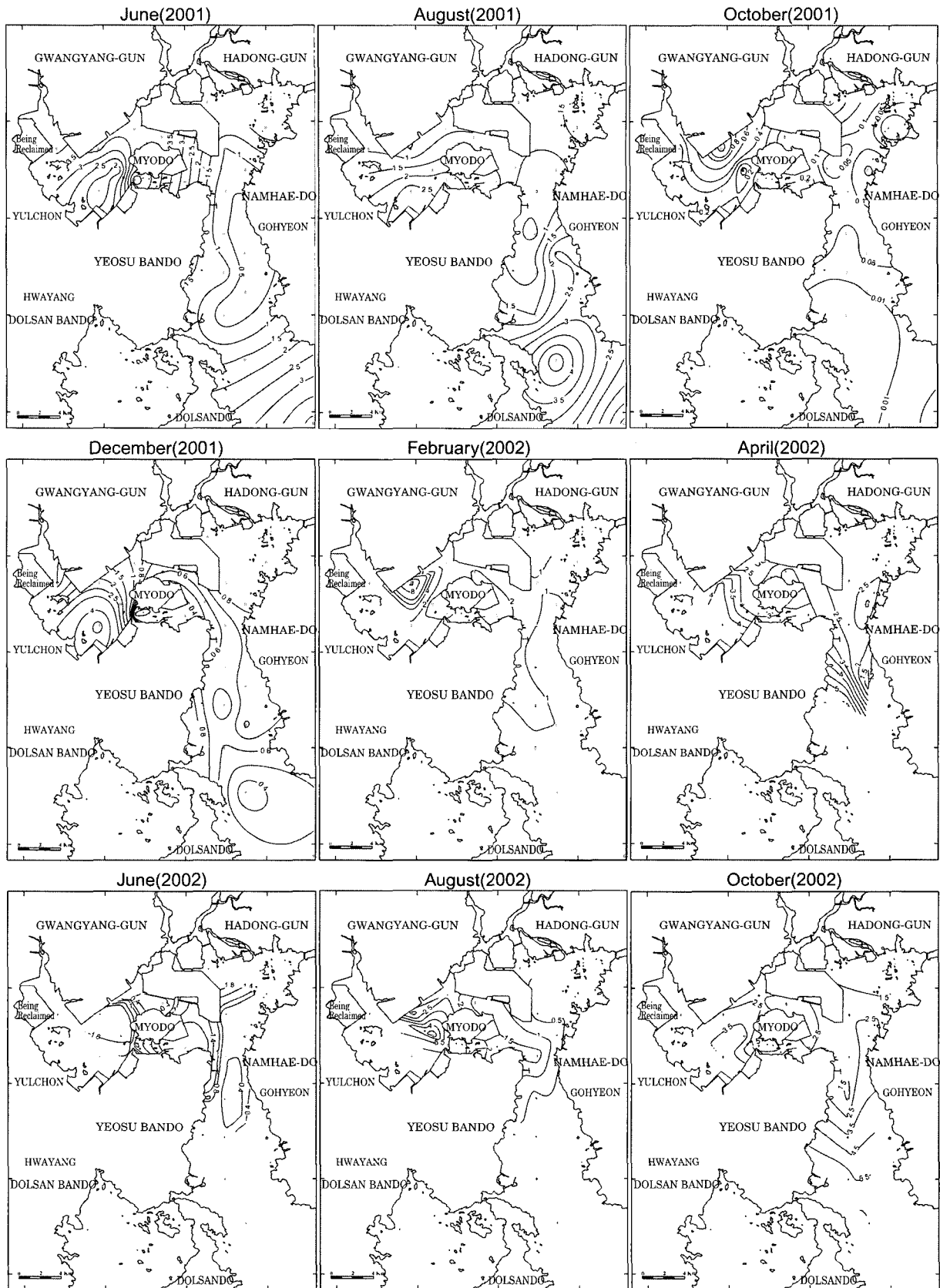


Fig. 4. Seasonal variation of surface water chl- a ($\mu\text{g L}^{-1}$) at each station.

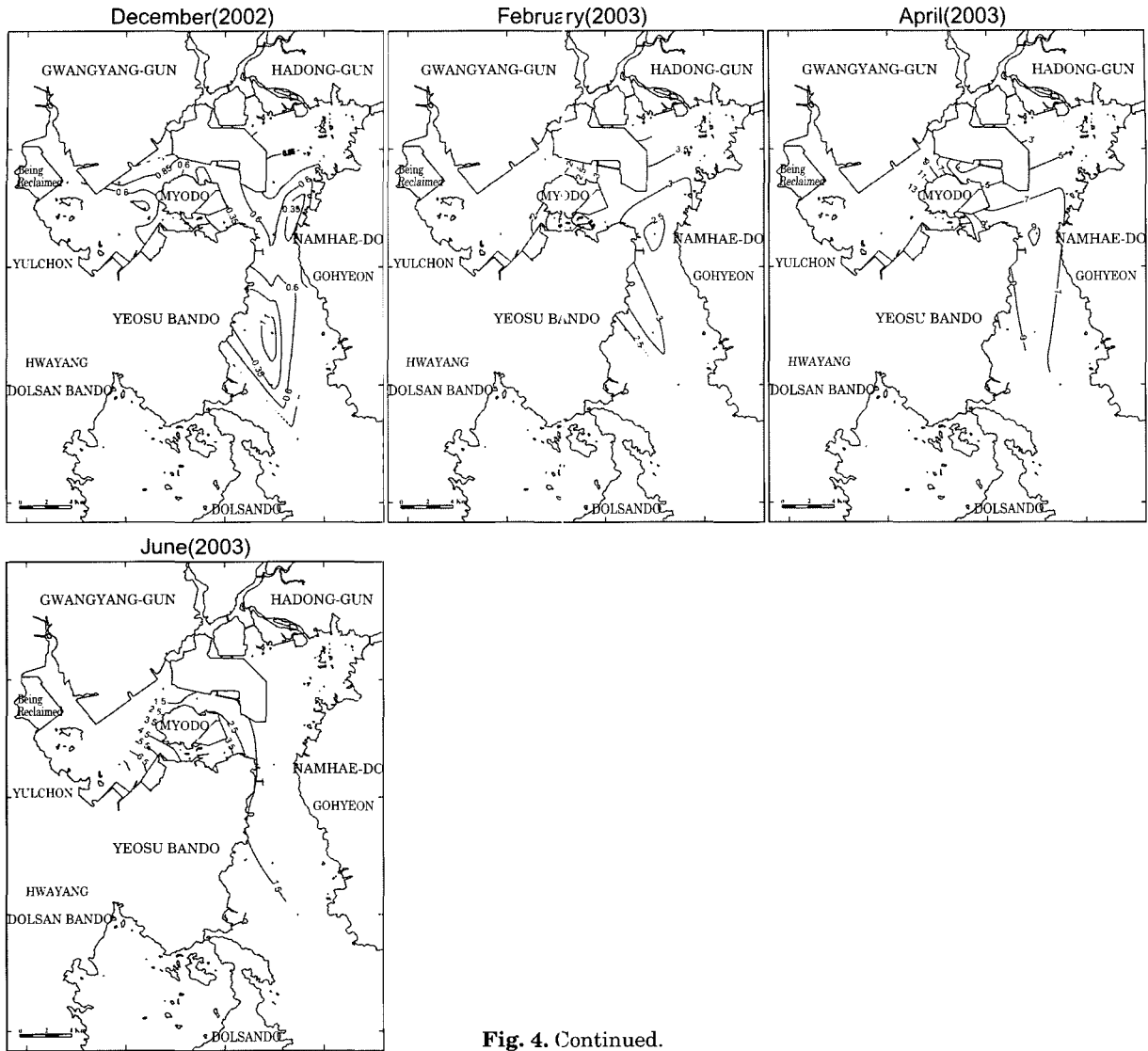


Fig. 4. Continued.

(Shannon and Weaver 1963), 종풍부도지수 (Margalef 1958), 균등도지수 (Pielou 1966) 등을 구하였다.

결 과

1. 수온, 염분, 엽록소-a

광양만에서 조사기간 동안 관측된 표층 수온은 5.8~27.2°C의 범위로 조사시기별로 뚜렷한 차이를 보여 2월에 가장 낮았고, 8월에 가장 높은 수온을 나타내었다. 정점간의 수온 분포는 3°C 내외로 비교적 균일하였으나 2001년 12월 그리고 2002년 4월과 12월에는 정점간에 6.0°C 이상의 비교적 큰 차이를 보였는데 이는 조사시기의 일사량의 변화가 큰 요인으로 작용한 것으로 판단된

다 (Fig. 2).

염분은 2.6~34.3 psu의 범위로 조사시기와 정점간에 매우 큰 차이를 보였다. 강우의 영향으로 인해 6월, 8월에 낮은 값을 나타냈으며 특히, 2003년 6월에 2.6~25.2 psu의 범위로 가장 낮았다. 정점별로는 섬진강하구에 위치한 정점 5에서 낮은 염분을 나타내었고 만의 안쪽에서 여수수로 쪽으로 갈수록 증가하는 양상을 보였다 (Fig. 3).

엽록소-a 농도는 조사기간 동안 0.03~20.63 $\mu\text{g L}^{-1}$ 의 범위로 시·공간적으로 큰 차이를 보였으며, 시기적으로 2001년 10월에 가장 낮았고 2003년 4월에 가장 높은 값을 보였다 (Fig. 4). 정점별로는 광양만 묘도 서쪽에 위치한 정점 1에서 대부분의 조사일에서 가장 높은 값을 보였고, 대체로 여수수로부터 광양만의 안쪽 정점으로 갈수록 증가하는 양상을 보였다.

2. 동물플랑크톤의 종조성 및 출현량

조사기간 중 출현한 동물플랑크톤은 야광충, 강장동물, 모악동물, 지각류, 미충류, 기타 유생 등의 47개 분류군이 었다(Table 1). 조사시기별 출현 분류군의 수는 16~36 개로 4월에서 가을철인 10월로 갈수록 분류군의 수가 증가하다 겨울철인 2월로 가면서 감소하는 양상을 보였다. 분류군 가운데 요각류가 미등정된 5종을 포함하여 18속

22종이 출현하여 가장 많은 출현종수를 보였다. 요각류의 출현종수는 조사시기별로 뚜렷한 양상을 보이지 않았으나, 대체로 가을철인 10월에 출현종수가 많았고 겨울철인 12월과 2월에 낮았다. 유생군의 출현수는 어란을 포함하여 10종류로 요각류 다음으로 높았다.

동물플랑크톤의 평균 출현량은 조사시기에 따라 125~212,761 inds. m⁻³ 범위였으며, 월별 출현량의 변동은

Table 1. The list of zooplankton occurred during the study period in Gwangyang Bay.

Taxon	2001				2002				2003				
	Jun.	Aug.	Oct.	Dec.	Feb.	Apr.	Jun.	Aug.	Oct.	Dec.	Feb.	Apr.	Jun.
<i>Noctiluca scintillans</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
hydroid	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*
siphonophorans	*	*		*		*	*	*	*			*	*
<i>Sagitta crassa</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*
<i>Sagitta enflata</i>		*	*	*			*	*	*				
<i>Podon leuckarti</i>		*	*	*		*	*	*	*				*
<i>Evadne tergestina</i>	*	*	*				*	*	*				*
<i>Penilia avirostris</i>		*					*	*					*
ostracod				*						*			
<i>Calanus sinicus</i>		*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Eucalanus</i> sp.			*						*				
<i>Canthocalanus pauper</i>			*										
<i>Paracalanus parvus</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Clausocalanus furcatus</i>			*	*									
<i>Sinocalanus tenellus</i>									*				*
<i>Centropages abdominalis</i>				*	*	*				*	*	*	
<i>Centropages furcatus</i>			*						*				
<i>Centropages tenuiremis</i>							*						
<i>Centropages dorsispinatus</i>		*											*
<i>Eurytemora pacifica</i>					*	*							
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*
<i>Temora stylifera</i>		*	*	*					*				
<i>Labidocera euchaeta</i>		*	*				*	*					*
<i>Acartia omorii</i>	*			*	*	*	*		*	*	*	*	*
<i>Acartia erythraea</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Tortanus forcipatus</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Oncaea</i> sp.			*						*				
<i>Oithona</i> sp.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Sapphirina</i> sp.		*										*	
<i>Corycaeus affinis</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Monstrilla</i> sp.			*										
harpacticoid			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
copepodites	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
amphipod	*				*	*	*	*	*	*			
decapod (<i>Lucifer</i> sp.)	*	*	*				*	*					*
appendicularians	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
thaliacea		*	*				*	*	*				
polychaete larvae	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
copepod nauplii	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
mysis			*										*
decapod larvae	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*
echinoderm larvae	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
cirriped larvae	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*
mollusk larvae	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
tunicate larvae			*	*					*	*	*	*	*
fish eggs	*	*	*	*		*	*	*	*	*		*	*
fish larvae	*	*	*			*	*	*	*	*		*	*

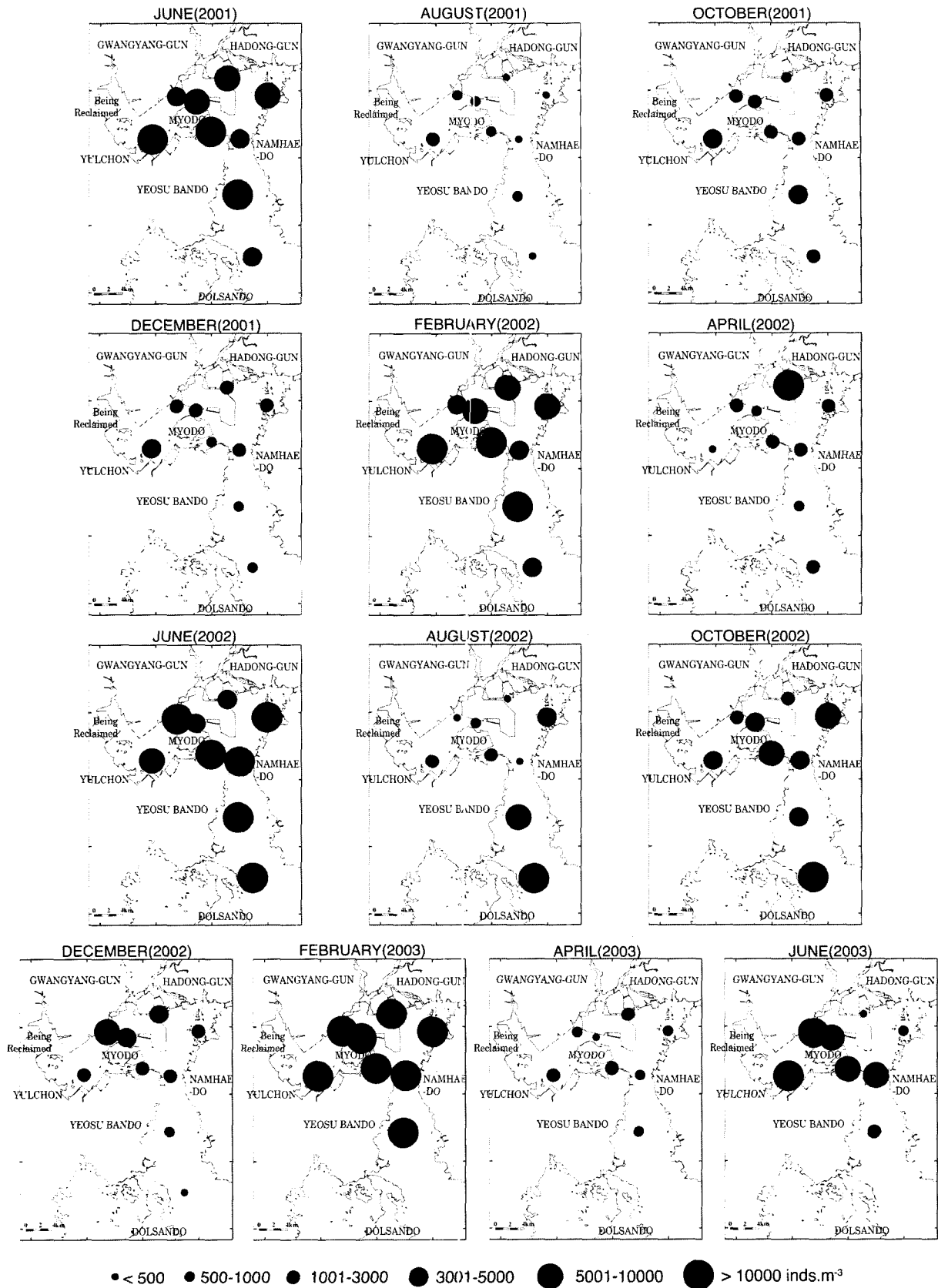


Fig. 5. Seasonal variation of zooplankton abundance at each station.

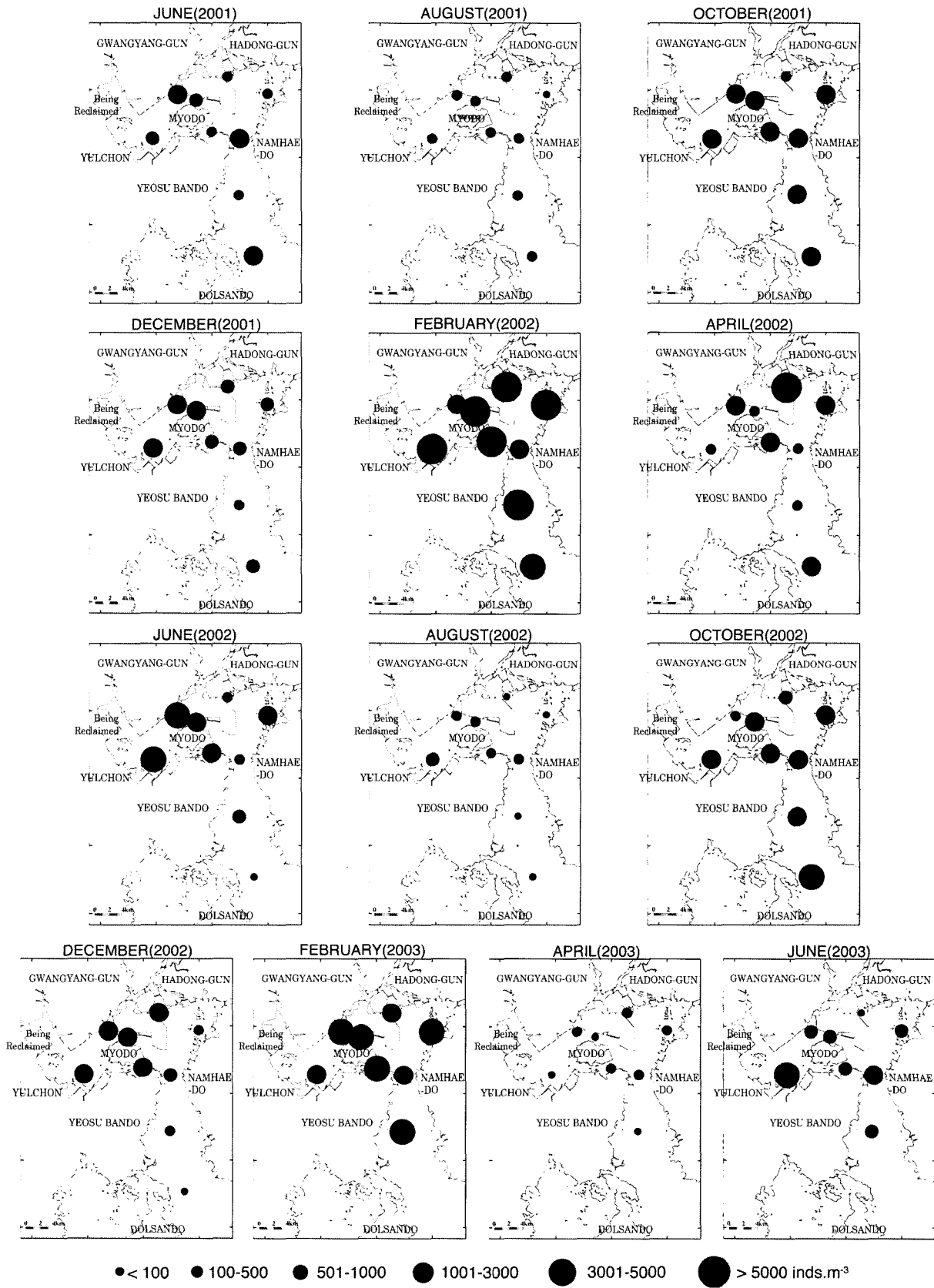


Fig. 6. Seasonal variation of copepods abundance at each station.

2002년 6월에 3,006~58,416 inds. m⁻³ (평균 26,069 inds. m⁻³) 범위로 가장 높았고, 2001년 8월에 184~1,532 inds. m⁻³ (평균 630 inds. m⁻³)로 가장 낮았다. 전반적으로 *Noctiluca scintillans*가 대량 번식한 6월과 2월에 상대적으로 높은 출현량을 보였으며, 시기적으로 다소간의 차이는 있지만 대체로 광양만내의 묘도 주변에 위치한 정점(1~4)들에서 다른 정점들에 비해 높은 출현량을 나타내었다(Fig. 5). 동물플랑크톤 중 요각류의 월평균 출현량은 153~7,053 inds. m⁻³의 범위로 겨울철인 2월에 높았고 여름철인 8월에 낮게 조사되었다. 요각류의 정점별 분포양상은 2001년 12월과 2002년 6월에는 묘도 주변의 정점들에서 출현량이 많았으나 그 외 조사시기에는 비교적 균일한 분포양상을 보였다(Fig. 6).

3. 동물플랑크톤의 조성을 및 우점종

전체 동물플랑크톤에 의한 주요 분류군의 조성율은 조사시기별로 큰 차이를 보였다(Fig. 7). 조사기간 동안 요각류의 평균 조성율은 38.2%로 가장 우점하는 분류군이 었다. 요각류의 조성율 범위는 4.6~84.1%로 조사를 시

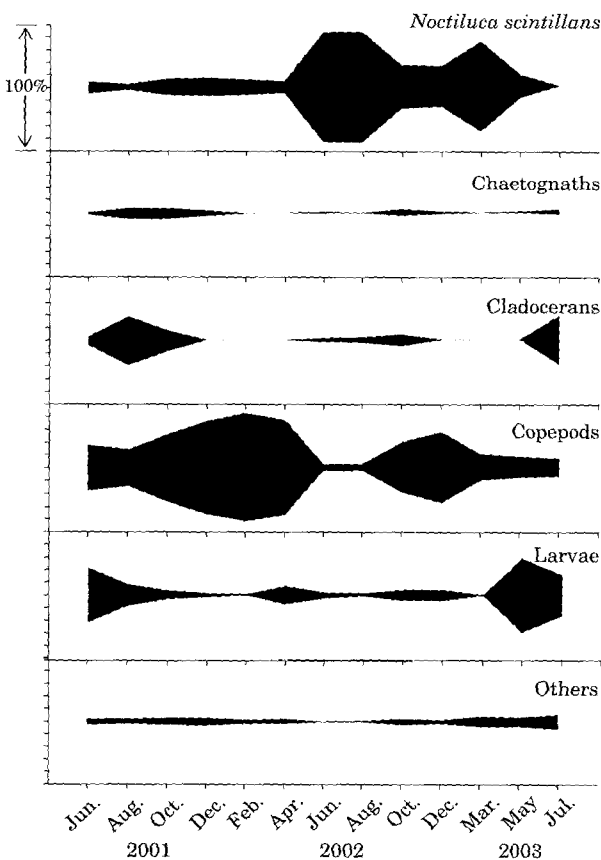


Fig. 7. Seasonal variations in percentage composition of major groups of zooplankton.

작한 2001년 6월과 8월에 각각 37.73%와 28.4%의 조성율을 보인 후 계속 증가하여 2002년 2월에 84.1%로 가장 높았다. 이후 감소하기 시작하여 *Noctiluca scintillans*의 조성율이 87.1%와 86.9%로 최대를 보인 2002년 6월과 8월에 5.2%와 4.6%로 최소를 보인 후 다시 점차 증가하는 양상을 보였다. 요각류 중 *Paracalanus parvus*는 대부분의 조사월에서 우점종으로 출현하였으며 2001년 10월과 12월에 39.3%와 36.6% 그리고 2002년 12월에

Table 2. Dominant species during the study period. Percentage indicates relative abundance of 3 most important species in each month

Year	Month	Species	%
2001	Jun.	cirriped larvae	32.8
		<i>Paracalanus parvus</i>	23.7
		<i>Noctiluca scintillans</i>	9.3
	Aug.	<i>Evadne tergestina</i>	37.7
		<i>Acartia erythraea</i>	16.9
		decapod larvae	8.6
	Oct.	<i>Paracalanus parvus</i>	39.3
		<i>Podon leuckarti</i>	13.9
		<i>Noctiluca scintillans</i>	12.8
	Dec.	<i>Paracalanus parvus</i>	36.6
		<i>Acartia omorii</i>	22.6
		<i>Noctiluca scintillans</i>	14.2
Feb.	<i>Acartia omorii</i>	43.9	
	<i>Paracalanus parvus</i>	18.2	
	<i>Centropages abdominalis</i>	12.6	
Apr.	<i>Acartia omorii</i>	59.2	
	cirriped larvae	11.7	
	<i>Paracalanus parvus</i>	11.5	
2002	Jun.	<i>Noctiluca scintillans</i>	87.1
		<i>Paracalanus parvus</i>	2.8
		<i>Evadne tergestina</i>	2.4
	Aug.	<i>Noctiluca scintillans</i>	86.9
		<i>Paracalanus parvus</i>	3.9
		<i>Evadne tergestina</i>	3.4
Oct.	<i>Noctiluca scintillans</i>	34.0	
	<i>Paracalanus parvus</i>	24.1	
	<i>Corycaeus affinis</i>	6.9	
Dec.	<i>Paracalanus parvus</i>	32.9	
	<i>Noctiluca scintillans</i>	32.0	
	<i>Acartia omorii</i>	12.8	
2003	Feb.	<i>Noctiluca scintillans</i>	70.8
		<i>Centropages abdominalis</i>	10.2
		<i>Paracalanus parvus</i>	6.6
	Apr.	cirriped larvae	55.0
		<i>Noctiluca scintillans</i>	18.0
		appendicularians	6.6
Jun.	<i>Evadne tergestina</i>	31.7	
	cirriped larvae	29.1	
	appendicularians	10.9	

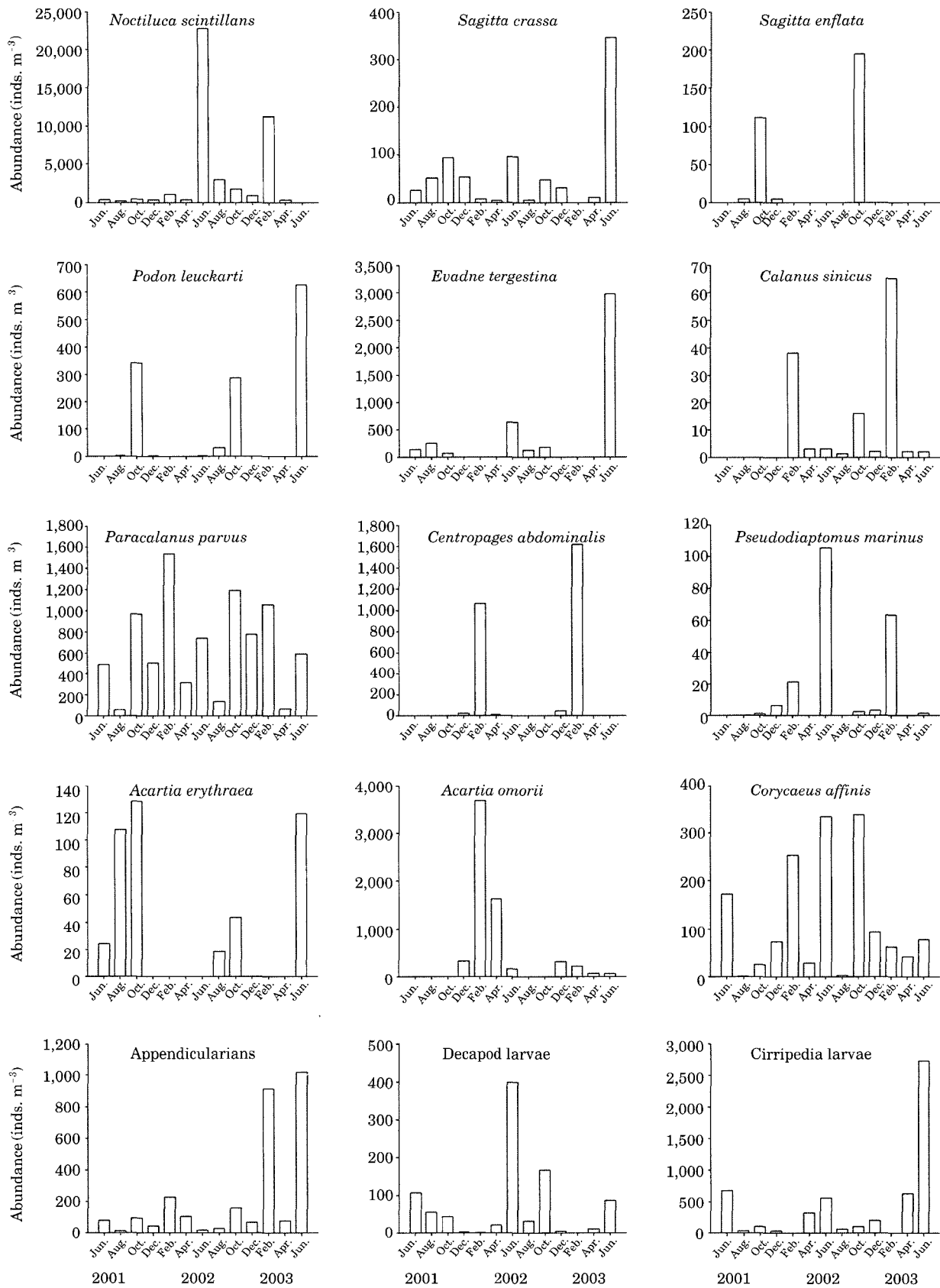


Fig. 8. Seasonal variations of major taxa in the mean abundance.

32.9%로 동물플랑크톤의 최우점종으로 출현하였다 (Table 2). *Acartia omorii*와 *Centropages abdominalis*는 겨울철인 12월과 2월에 우점한 반면에 *Acartia erythroa*는 여름철인 2001년 8월에 우점하였다.

*Noctiluca scintillans*는 평균 조성율이 30.0%로 요각류 다음으로 우점하였으며 13회의 조사시기 중 8회에 걸쳐 10% 이상의 조성율을 보였으며 2002년 6월과 8월에 조성율이 85% 이상을 차지하였다. 지각류는 비교적 수온이 높은 2001년 8월과 2003년 6월에 각각 37.7%와 31.7%로 조성율을 차지하여 가장 우점한 분류군이였다. 지각류 중 *Evadne tergestina*는 6월과 8월에 우점하였으며, *Podon leuckarti*는 10월에 높은 조성율을 보였다. 유생군은 다른 조사월에 비해 4월과 6월에 높은 조성율을 보였으며, 특히 2003년 4월에는 58.4%로 가장 높았다 (Fig. 7). 유생군 중 만각류 유생 (cirriped larvae)이 가장 우점하였고 2001년 6월과 2002년 4월과 6월에 우점하여 출현하였다.

4. 주요 출현종의 변화 양상

전 조사기간 걸쳐 출현한 종은 야광충인 *Noctiluca scintillans*와 요각류의 *Paracalanus parvus*, *Corycaeus affinis*, *Oithona* sp., 그리고 미충류와 기타 유생 등이었다 (Table 1). *Noctiluca scintillans*는 9~22,717 inds. m^{-3} 범위로 조사시기에 따라 출현량의 차이가 크게 났으며 특히, 2002년 6월과 2003년 2월에 10,000 inds. m^{-3} 이상의 높은 출현량을 보였다 (Fig. 8). 요각류의 우점종인 *Paracalanus parvus*의 출현량은 조사기간 동안 49~1,531 inds. m^{-3} 범위로 2002년 2월에 가장 높았으며 주로 10월과 12월에 높은 출현량을 보였다. *Acartia omorii*는 12월부터 이듬해 6월까지 출현하였으며 *Acartia erythroa*는 6월에서 10월 사이에만 출현하였다. *Centropages abdominalis*는 낮은 수온을 나타낸 10월과 12월에만 출현하였으며 *Calanus sinicus*는 2001년의 조사시기를 제외한 2002년과 2003년의 모든 조사시기에 걸쳐 출현하였으며 수온이 가장 낮은 2월에 월등히 높은 출현량을 보였다 (Fig. 8). *Eurytemora pacifica*는 2월과 4월에만, *Oncaea* sp.,는 10월에만 출현하였다. 이외에 *Centropages tenuiremis*, *Centropages dorsispinatus*, *Centropages furcatus*, *Labidocera euchaeta*, *Eucalanus* sp., *Canthocalanus pauper* 등은 수온이 높은 시기인 6월에서 10월 사이에 출현하였다. 지각류인 *Evadne tergestina*와 *Podon leuckarti*는 6월과 10월 사이에 주로 출현하였으며 강우로 인해 염분이 2.0~25.2 psu로 낮았던 2003년 6월에 높은 출현량을 보였다. 모악동물인 *Sagitta*

*crassa*는 2003년 2월을 제외한 모든 조사일에서 출현하였으며 6월에 높은 출현량을 나타내었고 8월과 12월 사이에 출현한 *Sagitta enflata*는 10월에 100 inds. m^{-3} 이상의 높은 출현량을 보였다. 미충류는 조사시기에 따라 뚜렷한 출현량 변화양상을 보이지는 않았으며 2003년 2월과 6월에 높은 출현량을 나타내었다. 전 조사시기 동안에 출현한 십각류와 만각류 유생은 다른 조사시기에 비해 6월에 상대적으로 높은 출현량을 보였다 (Fig. 8).

5. 군집지수

2001년 6월부터 2003년 6월까지 각 조사정점별로 출현한 동물플랑크톤의 군집 자료에 의해 종다양성지수 (H'), 균등도지수 (J'), 종풍부도 (R) 등 군집지수를 구한 결과, 종다양성지수와 균등도지수는 조사기간 동안의 정점에서 각각 0.04~2.47와 0.28~0.69의 범위를 보였으며 *Noctiluca scintillans*가 크게 우점한 2001년 6월과 8월 그리고 2003년 2월에 낮은 종다양성지수와 균등도지수 값을 보였다 (Table 3). 그 외 조사시기에는 전반적으로 유사한 범위의 값을 나타내었다. 종풍부도는 다른 조사시기에 비해 2월에 낮은 값을 보였으며 공간적으로는 묘도 서쪽에 위치한 정점 1과 섬진강 하구역에 위치한 정점 5에서 낮은 값을 보였다. 그리고 출현종수가 많았던 2001년 8월과 10월에 종풍부도 값이 높게 나타났다. 조사결과 2002년 8월에 종다양도지수와 균등도지수 그리고 종풍부도에 있어서 정점간의 격차가 가장 크게 나타났다. 군집지수 값에 있어서 조사시기와 정점간의 특징적인 양상은 보이지는 않았으나 대체로 조사시기와 각 정점간의 출현종수와 우점종의 출현양상을 잘 반영하였다.

6. 조석주기에 따른 동물플랑크톤의 변화

2시간 간격으로 13회에 걸쳐 측정된 수온의 시간에 따른 변화는 표층에서 24.1~26.5°C, 저층에서 22.8~23.9°C의 범위로 표층에서 변화 폭이 크게 나타났다 (Fig. 9). 조석주기에 따라 뚜렷한 변화 양상은 보이지는 않았으나 대체로 저조에서 고조로 가는 시기에 수온이 상승하는 양상을 보였다. 염분은 표층에서 14.9~26.2 psu, 저층에서 27.9~29.5 psu 범위로 표층에서 시간에 따라 11.3 psu의 매우 큰 변화를 보였고 저층은 변화의 폭이 적었다. 표층의 염분 변화는 저조에서 고조로 갈수록 증가하는 양상을, 이후 고조에서 저조로 가면서 염분이 다시 감소하는 양상을 반복적으로 보였는데 이는 섬진강의 육수와 주변 해수의 영향을 동시에 받는 지리적인 특수성에 기인한 것으로 판단된다. Chl-*a*는 표층에서 0.3~7.6 $\mu g L^{-1}$, 저층에서 0.5~5.2 $\mu g L^{-1}$ 의 범위를 보였으며, 표층의

Table 3. Seasonal variation in species diversity (H'), evenness (J'), richness (R) during the study period.

Stations	Diversity (H')												
	2001				2002				2003				
	Jun.	Aug.	Oct.	Dec.	Feb.	Apr.	Jun.	Aug.	Oct.	Dec.	Feb.	Apr.	Jun.
1	1.77	1.00	1.98	1.29	1.64	1.76	0.92	1.85	2.03	1.59	0.81	0.66	1.63
2	1.94	1.99	1.98	1.73	1.50	1.32	1.37	1.83	1.97	1.37	0.92	1.80	2.25
3	1.50	1.68	1.83	1.53	1.75	1.58	2.07	1.87	2.16	1.63	1.27	1.68	2.25
4	1.86	2.11	2.02	1.77	1.79	1.10	1.16	1.04	1.90	1.67	1.27	1.52	1.76
5	1.82	2.16	2.13	1.48	0.19	0.71	0.58	1.76	1.75	1.51	1.08	1.44	2.44
6	1.56	2.22	1.26	1.52	1.64	1.45	0.34	2.12	2.22	1.97	0.96	1.63	1.57
7	1.73	2.18	1.20	2.08	1.59	1.60	0.47	0.23	2.27	1.23	1.49	2.11	1.78
8	1.81	2.32	1.95	2.26	2.02	1.57	0.24	0.10	2.22	1.83	1.24	1.44	2.00
9	1.77	2.02	2.47	2.13	1.94	2.13	0.04	0.05	1.89	1.76			
Range	1.50	1.00	1.20	1.29	0.19	0.71	0.04	0.05	1.75	1.23	0.81	0.66	1.57
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
	1.94	2.32	2.47	2.26	2.02	2.13	2.07	2.12	2.27	1.97	1.49	2.11	2.44
Mean	1.73	1.87	1.80	1.71	1.42	1.39	0.72	1.09	2.01	1.58	1.13	1.54	1.96
Stations	Evenness (J')												
	2001				2002				2003				
	Jun.	Aug.	Oct.	Dec.	Feb.	Apr.	Jun.	Aug.	Oct.	Dec.	Feb.	Apr.	Jun.
1	0.64	0.35	0.65	0.49	0.64	0.69	0.31	0.60	0.68	0.62	0.35	0.25	0.54
2	0.69	0.69	0.64	0.67	0.63	0.53	0.48	0.83	0.73	0.53	0.36	0.70	0.76
3	0.53	0.57	0.58	0.56	0.62	0.72	0.70	0.71	0.73	0.59	0.48	0.66	0.79
4	0.62	0.73	0.62	0.69	0.68	0.46	0.41	0.38	0.66	0.67	0.47	0.57	0.67
5	0.71	0.73	0.79	0.51	0.13	0.27	0.21	0.73	0.61	0.63	0.44	0.50	0.86
6	0.58	0.78	0.40	0.54	0.66	0.58	0.13	0.72	0.74	0.77	0.36	0.62	0.52
7	0.75	0.79	0.41	0.73	0.66	0.61	0.18	0.08	0.77	0.47	0.57	0.72	0.69
8	0.76	0.74	0.61	0.81	0.73	0.61	0.09	0.04	0.72	0.66	0.46	0.58	0.68
9	0.64	0.71	0.77	0.72	0.72	0.77	0.01	0.02	0.62	0.69			
Range	0.53	0.35	0.40	0.49	0.13	0.27	0.01	0.02	0.61	0.47	0.35	0.25	0.52
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
	0.76	0.79	0.79	0.81	0.73	0.77	0.70	0.83	0.77	0.77	0.57	0.72	0.86
Mean	0.66	0.68	0.61	0.64	0.61	0.58	0.28	0.46	0.69	0.62	0.44	0.57	0.69
Stations	Richness (R)												
	2001				2002				2003				
	Jun.	Aug.	Oct.	Dec.	Feb.	Apr.	Jun.	Aug.	Oct.	Dec.	Feb.	Apr.	Jun.
1	1.85	2.32	2.40	1.62	1.24	2.01	1.64	2.74	2.31	1.50	0.94	1.89	1.84
2	1.94	2.50	2.75	1.58	1.23	1.42	1.68	1.43	1.99	1.40	1.20	1.84	2.05
3	1.96	2.67	3.08	1.86	1.75	1.26	2.25	2.08	2.24	1.84	1.36	2.13	1.94
4	2.54	2.70	3.33	1.77	1.40	1.27	1.67	2.02	1.96	1.45	1.48	1.74	1.53
5	2.04	2.92	2.13	2.43	0.33	1.38	1.66	2.07	2.16	1.24	1.14	2.18	3.20
6	1.78	2.82	2.95	2.27	1.31	1.58	1.28	2.96	2.24	1.65	1.31	1.90	2.30
7	1.32	2.88	2.18	2.31	1.10	1.73	1.38	1.92	2.03	1.78	1.38	2.70	1.75
8	1.61	3.39	2.83	2.36	1.63	1.74	1.31	1.78	2.52	2.18	1.46	1.73	2.43
9	2.02	2.94	3.15	2.71	1.69	1.89	1.58	1.26	2.13	2.13			
Range	1.32	2.32	2.13	1.58	0.33	1.26	1.28	1.26	1.96	1.24	0.94	1.73	1.53
	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~
	2.54	3.39	3.33	2.71	1.75	2.01	2.25	2.96	2.52	2.18	1.48	2.70	3.20
Mean	1.90	2.79	2.75	2.10	1.30	1.59	1.61	2.03	2.18	1.68	1.28	2.01	2.13

경우 증감을 반복하다 저조인 20시 40분에 최대농도를 보였으며 이후 급격하게 감소하여 저층보다 낮은 양상이

지속되었다.

시간에 따른 전체 동물플랑크톤의 개체수 범위는

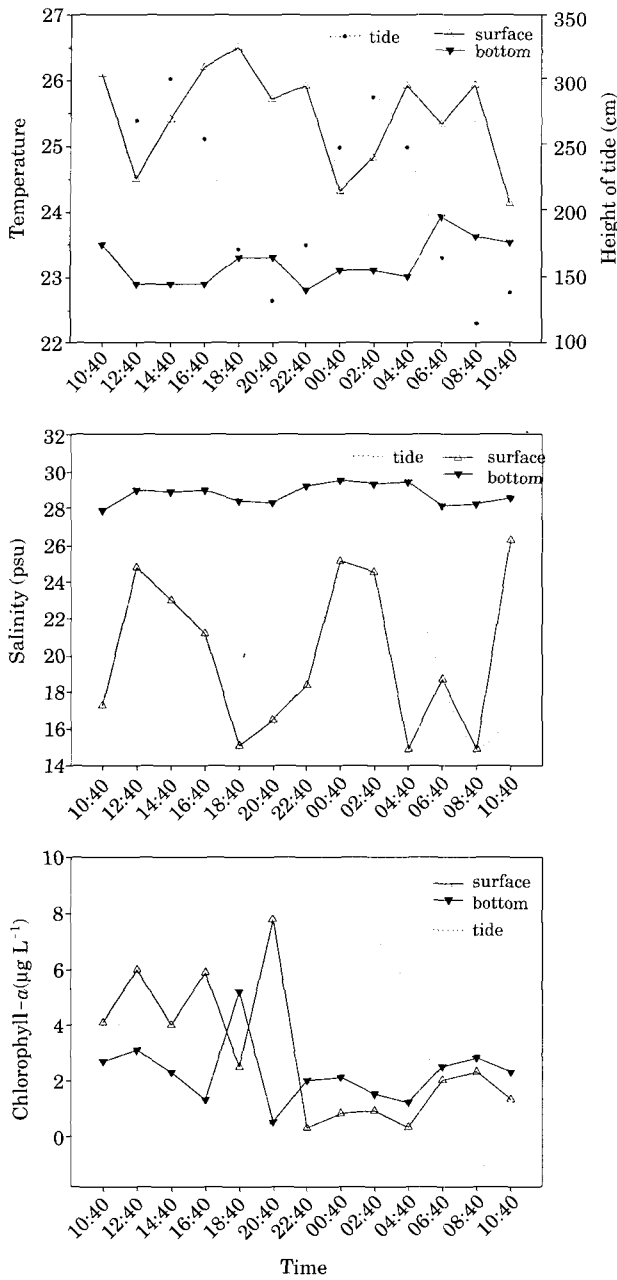


Fig. 9. Variations of tide, temperature, salinity and chl-a according to the tidal cycle (5 and 6 August, 2003).

2,768 ~ 15,856 inds. m⁻³로 시간에 따라 약 5.7배의 변동을 보여주고 있다(Fig. 10). 시간에 따른 변화양상은 저조에서 고조로 갈수록 동물플랑크톤의 현존량이 증가하는 양상을 나타내어 고조에서 가장 높은 개체수를 보인 후 다시 저조로 가면서 개체수가 감소하는 경향을 나타내었다. 마지막 두차례의 조사시간(8월 6일의 8시 40분과 10시 40분)을 제외하면 조고(潮高)의 변화와 매우 유사한 개체수 변동을 보였다. 즉, 조고의 높이가 높아질수록 높

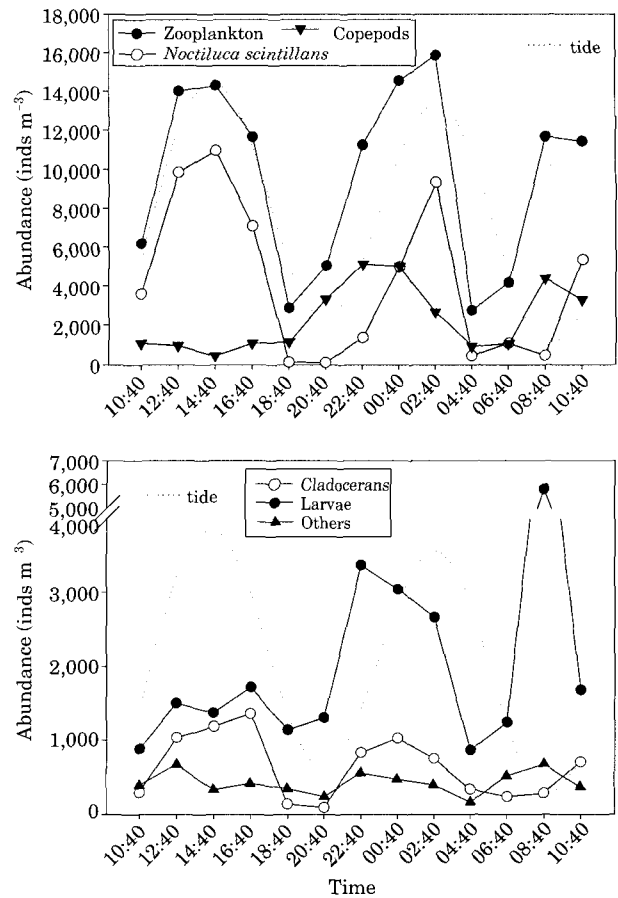


Fig. 10. Variations of the abundance of zooplankton and major groups according to the tidal cycle (5 and 6 August, 2003).

은 개체수를, 조고의 높이가 낮아질수록 낮은 개체수를 나타내었다. 이러한 시간에 따른 변화 양상은 103 ~ 10,981 inds. m⁻³와 80 ~ 1,361 inds. m⁻³의 변동을 보인 *Noctiluca scintillans*와 지각류에서도 나타났다(Fig. 10). 시간에 따른 요각류의 개체수 범위는 445 ~ 5,115 inds. m⁻³로 크게 나타나 약 11.5배의 변동의 차이를 보였다. 요각류는 조사를 시작한 10시 40분부터 18시 40분까지 변동이 폭이 미미하였으나 이후 저조에서 고조로 가면서 개체수가 급격하게 증가하는 양상을 나타내었고, 다시 조고가 변함에 따라 개체수의 증감이 크게 변하는 경향을 보였다. 유생군은 조석주기 따른 뚜렷한 변화양상을 보이지는 않았으며 시간에 따라 약 4.3배의 비교적 큰 변동의 차이를 보였다.

고 찰

일반적으로 외해에서의 동물플랑크톤의 분포는 수피의

환경특성에 의해 많은 영향을 받으나(박 등 1992; Kim *et al.* 1994; 장과 김 1998), 만의 경우 외해에 비해 자연적·인위적인 환경변화가 심한 관계로 수리역학적인 특성이 매우 다양하게 변하므로 만내 동물플랑크톤의 종조성 및 분포특성도 이러한 환경요인에 의해 크게 좌우된다(Lee 1972; 서 등 1991).

광양만에서 부두 건설을 위한 대규모적인 매립과 준설 공사가 수년간 진행되어 광양만 지형은 크게 변화되었다. 이러한 지형의 변화는 일차적으로 만내 유황(수위, 유향, 유속)에 적지 않은 영향을 미치는 것으로 예상되었고(최 등 1992), 또한 만내 유황의 변화는 광양만에 서식하는 플랑크톤의 시공간적인 변화에 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

본 조사에서 동물플랑크톤의 출현량은 뚜렷한 계절적인 특성을 보이지 않았으며, *Noctiluca scintillans*가 대량 번식한 2002년 6월과 2003년 2월에 매우 높은 현존량을 보였다(Fig. 5). *Noctiluca scintillans*을 제외한 출현량은 566~8,525 inds. m⁻³ 범위로 2000년 3월부터 2001년 7월까지 광양만의 19개 정점에서 총 7회 걸쳐 조사한 자료에서 *Noctiluca scintillans*을 제외한 출현량의 범위를 356~5,905 inds. m⁻³로 보고한 결과(송 2002)와 크게 다르지 않았다. 송(2002)에 의한 동물플랑크톤 출현량의 계절적 변동은 봄철에 낮고 여름철에 높은 것으로 보고하였으나 본 조사에서는 2월에 높은 반면에 여름철인 8월에 매우 낮은 것으로 나타났다.

동물플랑크톤 중 가장 우점하여 출현하는 분류군은 요각류로서 겨울철인 2월에 출현량이 높았고 여름철인 8월에 낮게 나타나 송(2002)과 대체로 일치하는 양상을 보였다. 1990년 2월부터 12월까지 광양만 4개 정점에서 격월 간격으로 요각류의 계절변동을 조사한 자료에서 *Calanus sinicus*, *Paracalanus* sp., *Pseudodiaptomus marinus*, *Corycaeus affinis*, *Acartia omorii*, *Centropages abdominalis*의 6종이 전체 요각류 출현 개체수의 71.4~99.7%를 차지하여 우점한 것으로 보고하였으며, 이 가운데 *Paracalanus* sp.는 조사기간 동안 44.0~69.3%의 점유율을 차지하여 광양만에서 조사기간 동안에 출현한 요각류 가운데 가장 우점한 것으로 보고한 바 있다(서와 서 1993). 또한, 1979년 8월부터 1980년 5월까지 총 5회에 걸쳐 여수내만 및 인접해역의 11개 정점에서 동물플랑크톤의 군집변화를 조사한 자료에서 요각류가 과반수 이상을 점하는 최우점군으로 나타났고 *Paracalanus parvus*를 요각류의 수위종으로 보고하였다(심과 노 1982). 조사기간에 따라 요각류의 우점종으로 *Paracalanus parvus*, *Acartia omorii*, *Acartia erythraea*, *Centropages abdominalis* 등이 출현하였다(Table 2). *Paracal-*

*anus parvus*는 전 조사시기에 출현하였으며 대부분의 조사월에서 우점종으로 출현하였다. *Acartia omorii*와 *Centropages abdominalis*는 여름철에는 출현하지 않았으며 겨울철인 12월과 2월에 높은 출현량을 보였다. *Acartia erythraea*는 여수 근해에서는 여름철에, 마산만과 득량만에서는 가을철에 출현량이 높은 것으로 보고하였다(심과 노 1982; Yoo *et al.* 1991; 한 등 1995). 본 조사에서도 겨울철과 봄철에는 출현하지 않았고 초여름인 6월과 가을철인 10월 사이에 출현하였다. *Paracalanus parvus*, *Acartia omorii*, *Acartia erythraea*, *Centropages abdominalis* 등에 대한 조사시기에 따른 출현특성은 광양만을 대상으로 요각류의 출현양상을 보고한 서와 서(1993), 송(2002)의 결과와 일치하였다.

지각류인 *Podon leuckarti*와 *Evadne tergestina*는 6월과 10월 사이에 출현량 증가를 보였다. 진해만을 대상으로한 지각류의 계절적인 출현양상에 대해 Yoo and Kim(1987)은 *Podon leuckarti*와 *Evadne nordmanni*는 봄철에, *Evadne tergestina*와 *Penilia avirostris*는 여름철과 가을철에 걸쳐 우점한다고 보고한 바 있다.

미충류인 Appendicularians는 일반적으로 수온이 높아짐에 따라 출현량이 증가하는 것으로 알려져 있는데(Uye and Ichino 1995) 본 조사에서 수온이 낮은 2월에도 높은 출현량을 보인 점이 특이하다.

조사해역에서 출현한 모악류는 *Sagitta crassa*와 *Sagitta enflata*였는데, 이 두종은 수괴의 특성을 밝히는 지표종으로 알려져 있다(박 1970). *S. crassa*는 저염분인 연안수역에 주로 분포하는 종으로서 우리나라 서해에 많이 출현하며, 남해에서는 연안을 따라 주로 출현한다. 본 조사해역에서 *Sagitta crassa*는 2003년 2월을 제외한 모든 조사월에서 출현하였으며 6월에 높은 출현량을 나타내었고 묘도 주변에 위치한 정점들에서 개체수가 많았다. 한국 근해에 미치는 난류의 영향을 밝히는 생물학적 지표종으로서 이용되는 외양성 난류종인 *S. enflata*는 계절별로 동계와 춘계에 소량 출현하고, 하계와 추계에 다량 출현한다고 알려져 있다(박 1970). *S. enflata*는 본 조사에서는 10월에 출현량이 크게 증가하였으며 만내외에 걸쳐 비교적 고른 분포를 보였다. *S. enflata*와 난류성 요각류인 *Eucalanus* sp., *Canthocalanus pauper*., *Centropages furcatus*의 출현양상을 미루어 보아 10월에 난류 세력이 광범위하게 조사해역에 영향을 미친 것으로 판단된다.

준설과 매립에 의해 광양만의 지형은 크게 변화되었으며, 이러한 변화는 조석의 차이에 큰 변화를 야기할 수 있다(최 등 1992). 또한 북쪽으로 섬진강이 위치하고 있어 조석주기에 의한 물리·화학적 변화가 클 것으로 판단되며 결국, 플랑크톤의 군집구조에도 상당한 영향을 미

칠 것으로 예상된다. 조석의 변화는 동·식물플랑크톤 생태에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Sameoto 1975; Levasseur *et al.* 1984; 박 1989; 최 1991; Freire *et al.* 1993; 김과 장 2001). 조류나 바람에 의한 수직혼합은 포식자가 먹이생물과 만날 수 있는 확률에 영향을 미치므로 치자어를 포함한 부유생물의 영양역학관계에도 중요한 역할을 한다(Rothschild and Osborn 1988; MacKenzie and Leggett 1991). 본 조사의 결과에서도 조석주기에 따라 염분과 엽록소-*a*의 농도가 크게 변하였으며, 동물플랑크톤 개체수 또한 약 5.7배의 큰 변동을 나타내었다. 이와 같은 결과로 미루어 광양만에 동물플랑크톤의 개체수는 조석주기에 따른 환경변화에 큰 영향을 받는 것으로 판단되며 광양만의 지속적인 개발로 인한 해양환경의 변화는 이와같은 양상을 더욱 심화시킬것으로 예상된다. 따라서 광양만에 출현하는 동물플랑크톤의 종 조성 및 분포 특성을 보다 정확히 파악하기 위해서는 시·공간적인 조사와 더불어 조석주기에 의한 물리·화학적 변화와 부유생물에 대한 연구가 보다 활발히 이루어져야 한다.

적 요

광양만에서 동물플랑크톤의 계절변동을 2001년 6월부터 2003년 6월까지 격월로 조사하였다. 동물플랑크톤은 조사해역의 9개 정점에서 망목 300 μm 인 NORPAC 네트를 이용하여 수평채집하였다. 조사기간 동안 동물플랑크톤은 47종류가 출현하였으며 평균 출현량은 6,205 inds. m^{-3} 이었다. 월별 출현량은 2002년 6월에 최대 26,060 inds. m^{-3} 에서 2001년 8월에 최소 630 inds. m^{-3} 사이에서 변동하였다. 요각류는 채집된 동물플랑크톤의 4.6~84.1% (평균 38.2%)를 차지하여 가장 우점하는 분류군이였다. 우점하는 요각류는 *Paracalanus parvus*, *Centropages abdominalis*, *Acartia omorii*, *Acartia erythraea*였다. 적조를 유발하는 *Noctiluca scintillans*는 2002년 6월부터 2003년 2월까지 우점하여 출현하였다. 요각류 가운데 높은 출현량을 보인 *Acartia omorii*와 *Centropages abdominalis*는 수온이 낮은 겨울과 봄에, 그리고 *Acartia erythraea*는 수온이 높은 여름과 가을에만 우점하여 출현하였다. 그 외에 지각류와 만각류 유생은 6월과 8월에 우점하여 출현하였다. 조석주기에 따른 동물플랑크톤의 개체수 범위는 2,768~15,856 inds. m^{-3} 로 시간에 따라 약 5.7배의 변동을 보였다.

사 사

이 논문은 “남해 특별관리해역의 환경오염 관리모델 연구(1) 광양만 중심 연구”(PE836-00)와 한국과학재단의 해외 post-doc. 연구 지원에 의하여 연구되었으며, 현장 조사를 도와준 이재도, 이우진 연구원께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김용서. 1984. (An) Ecological Study on the Zooplankton Community in Gwangyang Bay, Korea. 서울대학교 석사학위논문.
- 김용서, 장민철. 2001. 황해 소난지도 인근해역에서 조류(潮流)에 따른 요각류 개체수의 변화. 환경생물학회지. 19(2): 137-145.
- 박주석. 1970. 한국 근해의 모악류에 관한 연구. 수진연구보고. 6:1-174.
- 박주석, 이삼석, 강영실, 이병돈, 허성희. 1992. 황해 동남 해역의 수괴지표성 요각류 및 모악류의 분포와 수괴특성. 한국수산학회지. 25(4):251-264.
- 박 철. 1989. 연안역 동물플랑크톤 시료의 변이: 반복 채집 및 시간별 채집의 필요성. 한국해양학회지. 24(4):165-171.
- 서호영, 서해립. 1993. 광양만의 부유성 요각류 출현량의 계절 변동. 환경생물학회지. 11(1):26-34.
- 서해립, 서호영, 차성식. 1991. 만경 동진강 하구계의 동물플랑크톤의 분포와 염분. 한국해양학회지. 26(3):181-192.
- 송재윤. 2002. 2000~2001 전남 광양만에서 후생동물 플랑크톤의 생태 및 진주담치유생의 섭식. 여수대 석사학위 논문.
- 신현철, 고철환. 1990. 광양만 다모류군집의 시공간적 변화. 한국해양학회지. 28:305-312.
- 심재형, 노 일. 1982. 여수 근해산 동물플랑크톤의 종조성과 양적 분포. 서울대학교 자연과학연구 논문집. 7:165-183.
- 윤성진. 1998. 광양만 주변해역의 동물플랑크톤 분포: 수괴지표종을 중심으로. 한국해양대학교 석사학위논문.
- 위인선, 이준빈, 유수현. 1992. 성게배아를 이용한 서남해역 저질오염의 생물학적 검정. 환경생물학회지. 10:79-84.
- 장민철, 김용서. 1998. 1996년 춘계 황해의 동물플랑크톤 분포와 환경특성. Ocean Res. 20(1):19-28.
- 차성식, 박광재. 2000. 여름철 광양만 소형동물플랑크톤의 출현량과 종조성. 한국수산학회지. 33(4):361-366.
- 최동림, 현상민, 이태희. 2003a. 한반도 남해안 광양만의 최근 지형변화 및 후기 제4기 퇴적층서 발달. 한국해양학회지. 8(1):35-43
- 최성열, 조원철, 이원환. 1992. 컨테이너 부두건설에 따른 광양만의 유향변동. 대한토목학회논문집. 12(30):115-125.
- 최진우, 유옥환, 이우진. 2003b. 광양만에 서식하는 대형저서동

- 물의 하계 공간분포양상. 한국해양학회지. 8(1):14-28.
- 최중기. 1991. 황해 중·동부 연안 수역의 조석전선이 식물플랑크톤 생산력과 분포에 미치는 영향. 한국해양학회지. 26(3):223-241.
- 한동훈, 홍성윤, 마채우. 1995. 득량만 동물플랑크톤의 분포. 한국수산학회지. 28(4):517-532.
- Freire AS, MJC Coelho and SLC Bonecker. 1993. Short term spatial-temporal distribution patterns of zooplankton in Admiralty Bay (Antarctica). Polar Biol. 13:433-439.
- Hunter MD and PW Price. 1992. Playing chutes and ladders: heterogeneity and the relative roles of bottom-up and top-down forces in natural communities. Ecology 73:724-732.
- Kim WS, JM Yoo, CS Myung and EK Lee. 1994. Distribution of chaetognaths in the southern sea of Korea in relation to the water masses in fall. pp. 203-210. In Recent Advances in Marine Science and Technology 94 (Choat OH and N Saxena eds.) PACON International and James Cook University of North Queensland.
- Lee SS. 1972. Distribution of copepods in Chinhae Bay and its adjacent region. Bull. Fish. Res. Dev. Agen. Korea 9: 7-24.
- Levasseur M, JC Therriault and L Legendre. 1984. Hierarchical control of phytoplankton succession by physical factors. Mar. Ecol. Prog. Ser. 19:211-222.
- MacKenzie BR and WC Leggett. 1991. Quantifying the contribution of small-scale turbulence to the encounter rates between larval fish and their zooplankton prey: effects of wind and tide. Mar. Eco. Pro. Ser. 73:1149-160.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. General Systematics 3:36-71.
- Parsons TR, Y Maita and CM Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, New York.
- Pielou EC. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collection. J. Theoret. Biol. 13:131-144.
- Poulet SA and R Williams. 1991. Characteristics and properties of copepods affecting the recruitment of fish larvae. Proceedings of the fourth international conference on copepoda. Bull. Plankton Soc. Japan. Spec. Vol.(1991):271-290.
- Rothschild BJ and TR Osborn. 1988. The effects of turbulence on planktonic contact rates. J. Plankton Res. 10(3):465-474.
- Sameoto DD. 1975. Tidal and diurnal effects of zooplankton sample variability in a nearshore marine environment. J. Fish. Res. Board Can. 32:347-366.
- Shannon CE and W Weaver. 1963. Diversity indices. pp. 82-92. In: Ludwig JA and JF Reynolds. 1988. Statistical Ecology. John Wiley & Sons.
- Uye SI and S Ichino. 1995. Seasonal variation abundance, size composition, biomass and production rate of *Oikopleura dioica* (Fol) (Tunicata: Appendicularia) in a temperate eutrophic inlet. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 189:1-1.
- Yoo KI and SW Kim. 1987. Seasonal Distribution of Marine Cladocerans in Chinhae Bay, Korea. J. Oceanol. Soc. Korea 22(2):80-86.
- Yoo KI, HK Hue and WC Lee. 1991. Taxonomical revision on the genus *Acartia* (Copepoda: Calanoida) in the Korean waters. Bull. Korean Fish. Soc. 24(4):255-265.

Manuscript Received: October 17, 2003

Revision Accepted: January 26, 2004

Responsible Editorial Member: Saywa Kim
(Yongin Univ.)