

Article

가막만 동물플랑크톤 군집의 변동특성과 환경요인

문성용 · 윤호섭 · 서호영 · 최상덕*

전남대학교 해양기술학부
(550-749) 전남 여주시 둔덕동 산 96-1번지Environmental Factors and Variation Characteristics of
Zooplankton Communities in Gamak Bay

Seong Yong Moon, Ho Seop Yoon, Ho Young Soh, and Sang Duk Choi*

Division of Marine Technology
Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

Abstract : Spatio-temporal patterns in the zooplankton communities, physicochemical environmental factors, and dominant species were examined in Gamak Bay from April, July, September, and November, 2003. A total of 40 taxa were sampled with a mean abundance of total zooplankton ranging from 270~1,803 inds/m³. The most abundant species was *Acartia erythraea*, followed by *Eurytemora pacifica*, *Podon polyphemoides*, *A. omorii*, and *Paracalanus parvus* s. l during the study period. Multivariate analysis revealed significant differences in community structure among three regions: the middle part of the sampling area (B), sites 1, 2 (A) and other sites (C). The number of species and diversity (*H'*) varied significantly among the three regions ($p < 0.05$), but no differences in the mean abundances were observed ($p > 0.05$). In order to investigate factors affecting the correlations between the abundance of dominant species, all zooplankton and environmental factors were calculated using a correlation analysis. Of these, the abundance of dominant taxon showed positive correlation with seawater temperature, salinity and dissolved oxygen ($p < 0.05$). In statistical analysis showed that the environmental factors influencing the variation of the communities were predominantly temperature, salinity, and dissolved oxygen.

Key words : zooplankton community, environmental factors, dominant species, Gamak Bay

1. 서 론

해양의 표영생태계에서 동물플랑크톤은 식물플랑크톤을 주 먹이로 하는 포식자이며 먹이사슬에 있어 일차생산자와 상위 영양단계의 소비자와 연결하는 중간 연결자 역할을 담당하고 있어, 수산자원의 지속적인 이용과 개발을 위해서는 조사 해역의 동물플랑크톤의 분포와 생물량에 대한 정확한 기초조사가 필수적이고 중요하다(Cushing 1975). 동물플랑크톤의 군집은 서식지 환경, 시료의 채집 시기와 방법의 차이(UNESCO 1968; 이와 박 2004), 수괴

의 혼합과 같은 물리적인 현상과 수온, 염분, 먹이조건(Poulet and Williams 1991; Haury *et al.* 1992; 김과 장 2001), 자치어와 같은 포식자의 포식활동에 대한 생물학적 요인 등에 의해 영향을 받는다(Hunter and Price 1992).

가막만은 전형적인 반폐쇄성 내만으로 기초 생산력이 높아 각종 어패류 양식이 활발히 행해지고 있으며, 해양 생태계가 비교적 양호하여 지속적으로 보전과 관리가 필요한 환경보전해역으로 지정되어 있다(조 등 1994). 수면적의 9.9%를 차지하는 수하식 굴양식장의 영향으로 여름철 고수온기에는 인접 도시로부터 산업폐수와 도시하수 등에 의한 오염물질 유입되어 인공적인 부하가 발생하여 빈산소수괴가 형성되는 해역이며(윤 2000), 1984년 이후

*Corresponding author. E-mail : choisd@chonnam.ac.kr

에는 매년 적조가 발생하여 수산피해를 주는 해역이다 (NFRDI 1998). 가막만 북서부 연안해역에 서식하는 동물플랑크톤 군집은 수질 변화에 의해 큰 영향을 받는 것으로 나타나(서 등 1991; 강 등 1996), 가막만에 출현하는 동물플랑크톤 중 주요한 지표성 종과 군집 구조 파악을 통해 생태계 변화를 밝히는 것은 매우 중요하다. 그동안 가막만에서 수행된 동물플랑크톤에 대한 연구는 계절에 따른 종조성과 분포를 중심으로 단편적으로만 이루어져 있어(심과 노 1982; 서 등 2002), 동물플랑크톤 군집구조에 영향을 주는 환경요인에 대한 평가는 미비하였다.

이 연구의 목적은 가막만 해역의 물리, 화학적인 요인들이 동물플랑크톤의 군집구조에 어떠한 영향을 주었는지 밝히는 것이다. 첫 번째 동물플랑크톤 군집 구조와 우점종의 변화가 나타나고 있는지를 파악하고, 두 번째 군집구조 및 우점종의 변화가 나타나고 있다면, 이에 미치는 주요 환경요인을 파악하고자 한다. 이와 같은 두 가지의 연구 목적을 평가하기 위해, 최근에 실시된 동물플랑크톤 군집에 대한 연구 결과를 토대로 비교 검토하였다.

2. 재료 및 방법

동물플랑크톤 채집 및 수질환경

동물플랑크톤 분석은 가막만 북서부 해역을 중심으로

만조시에 2003년 4월, 7월, 9월 및 11월에 총 12개의 조사 정점에서 1회씩 조사한 시료와 자료를 사용하였다(Fig. 1). 동물플랑크톤 채집은 NORPAC 네트(망목 330 μm , 망구직경 45 cm)를 이용하여 1 m/sec의 속도로 저층에서 표층까지 수직 예인하였다. 채집된 시료는 즉시 선상에서 중성포르말린을 사용하여 5%가 되도록 고정하였다. 정량분석을 위하여 네트 입구에 유속계(Hydro-Bios model 438115)를 부착하여 여과 해수량을 산출하였으며, 종조성 및 개체수의 조사에 시료의 분할이 필요할 때는 Folsom식 분할기를 이용하여 1/2~1/8까지 분할한 후, Bogorov계수판에서 해부현미경(Olympus SZ40)을 사용하여 종 수준까지 동정 및 계수하여 단위체적당 개체수로 환산하였다.

수온, 염분 및 용존산소는 현장에서 T-S meter(model 58, YSI)로, 수소이온농도는 pH meter(Orion EA 940)로 측정하였다. 용존산소량(DO)은 Winkler방법에 의해 분석하였으며, 화학적 산소요구량(COD)은 알칼리성 과망간산 칼륨법으로 분석하였다. 엽록소 *a* 농도를 측정하기 위해 각 정점별 시료 1 l를 여과지(Pore size 0.45 μm , Whatman membrane)로 현장에서 여과하였고, 여과가 끝나기 직전 1% 탄산마그네슘 용액을 한 두방울 주입한 후, 여과지를 90% acetone 10 ml를 주입하여 24시간동안 냉암소에서 색소를 추출한 후, 2000 rpm으로 10분간 원심분리시켜 상등액을 Spectrophotometer(UV 1201, Shimadzu)로 측정하였다(Parsons et al. 1984).

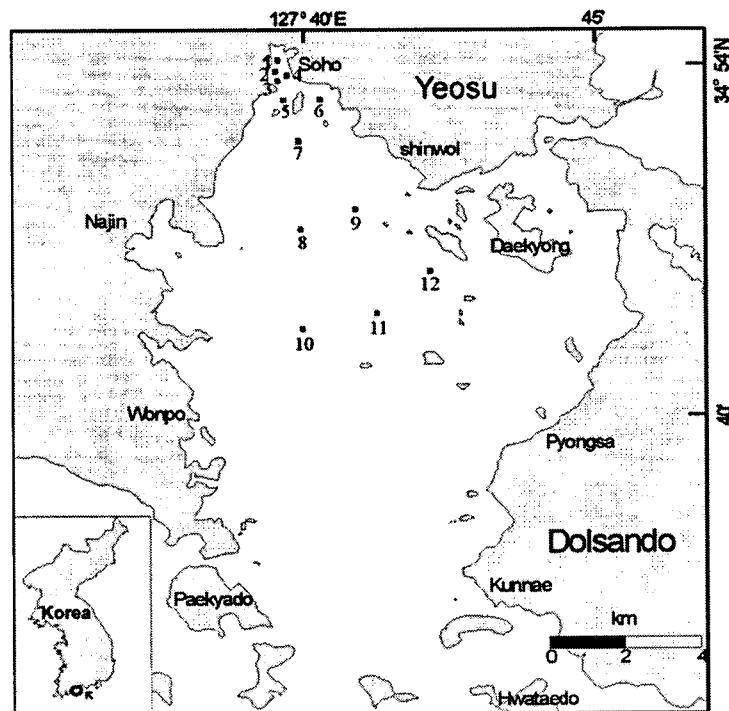


Fig. 1. A map showing sampling stations in Gamak Bay.

자료 분석

동물플랑크톤의 각 정점별 생태환경 분석을 위한 지표로서 종 다양성 지수(Shannon and Weaner 1963)와 균등도지수(Pielou 1975)를 분석하였다. 계절에 따른 정점별 종조성과 그에 따른 해역별 유사도 측정을 위해 Bary-Curtis의 유사도지수를 토대로 비가중 산술평균(UPGMA)에 의하여 정점간 수치도(dendrogram)를 작성하여 군집화하는 계보적 집괴분석(Hierarchical cluster analysis)에 의해 살펴보았다. 소수 출현 종에 의한 유사도지수의 과대평가를 낮추기 위해 출현 출현빈도가 0.5% 이상인 주요 우점종의 개체수를 대상으로 지수변환[$\log(\text{abundance} + 1)$]한 자료를 이용하였다. 또한 출현 종 별 개체수 자료를 이용하여 NMDS(non-metric multidimensional scaling) 배열법으로 군집분석을 하였다(Clarke 1993). 군집분석의 결과로 구분되어지는 각 해역간의 유의한 차이를 보기 위해 one-way ANOSIM 평가를 실시하였으며, 각 해역의 구분에 영향을 미치는 동물플랑크톤을 파악하기 위해 SIMPER(similarity-percentages procedure) 분석을 실시하였다(Primer 5.0, Primer-E Ltd.). 또한 각 해역에 출현하는 종수와 개체수의 유의한 차이를 파악하기 위해, one-way ANOVA test를 실시하였다.

동물플랑크톤 군집에 미치는 우점종들과 환경요인간의

상관관계를 파악하기 위해 Spearman 상관계수를 분석하였으며, 연구 기간동안 상관 분석에 이용된 환경요인들은 엽록소-a를 제외한 모든 항목들을 표층과 저층에서 얻어진 데이터는 평균값을 사용하였으며, 통계처리에 따른 분석은 SPSS(ver. 13.0) program을 사용하였다. 가막만 북서부해역의 동물플랑크톤 군집의 변동양상을 파악하기 위해, 기존 결과와 비교 검토하였으며(심과 노 1982; 서 등 2002), 비교 항목은 종수, 평균 개체수, 우점종, 총 분류군에서 요약류가 차지하는 비율이었다.

3. 결 과

물리·화학적 환경요인

가막만의 수질환경 항목을 조사한 결과는 Fig. 2와 같다. 조사기간 중 수온은 12.1~26.1°C의 범위로서 4월에 평균 12.4°C, 7월에 평균 21.7°C, 9월에 평균 25.1°C, 11월에 평균 14.3°C로서 9월에 가장 높았으며, 월별 수온의 정점 간 차이는 크지 않았다. 염분은 27.1~31.8 psu의 범위로, 월별 평균 변화는 갈수기인 4월과 11월에는 각각 평균 31.2 psu와 31.0 psu로 높게 나타났고, 풍수기인 7월과 9월에는 장마의 영향으로 인해 각각 평균 29.7 psu와 27.6 psu로 낮게 나타났으며, 소호 인근 해역의 정점을 중심으로

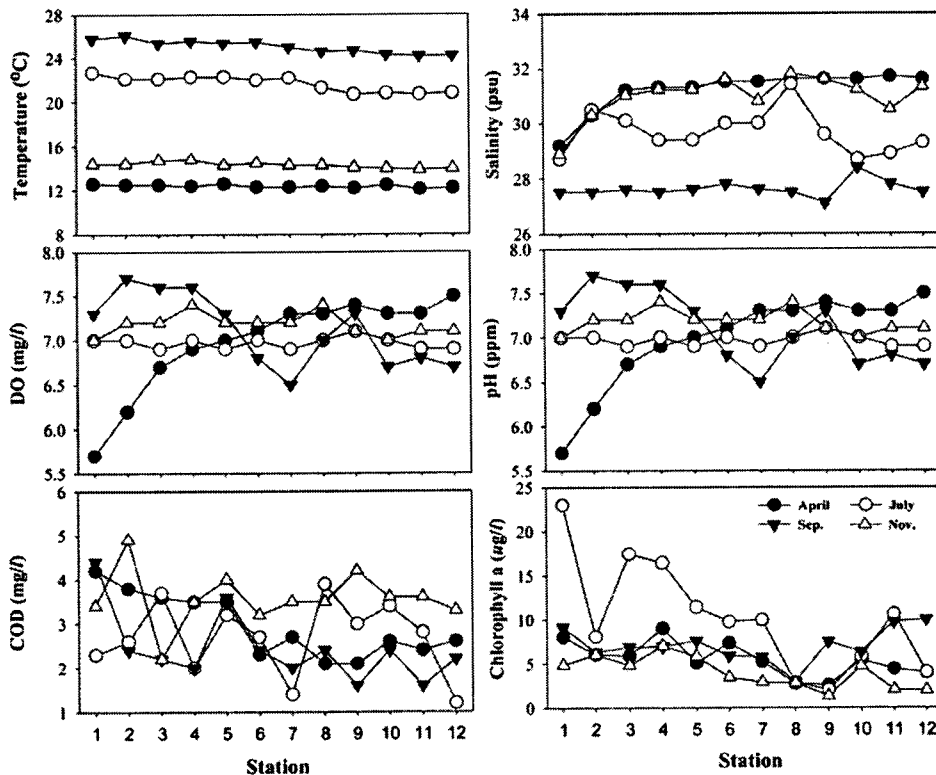


Fig. 2. Variation of environmental variables at the sampling sites in Gamak Bay, 2003.

로 상대적으로 낮은 값을 나타냈다. 용존산소량은 5.70~7.60 mg/l 범위로서, 11월에 높게 나타났다. 4월에는 소호 인근 해역의 정점 1에서 5.70 mg/l로 낮은 값을 나타내 저산소화 현상을 보였다. 수소이온농도는 7.6~8.2 ppm의

범위를 보였으며, 9월에 평균 8.03 ppm으로 가장 높았고 11월에 7.95 ppm으로 가장 낮게 나타났지만, 월별 정점 간 차이는 크지 않았다. 화학적 산소요구량은 1.4~4.9 mg/l의 범위로서 9월에 평균 2.43 mg/l로 가장 낮았으며, 11월

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

Species	Month			
	April	July	September	November
<i>Noctiluca scintillans</i>	*	*	*	*
unidentified Trachymedusae spp.	*	*	*	*
unidentified Siphonophorids	*	*		
unidentified Anthomedusae sp	*			
unidentified Semaestomids	*			
unidentified Ctenophorid sp.			*	
<i>Penilia avirostris</i>	*	*		
<i>Podon polyphemoides</i>	*	*	*	*
<i>Evadne tergestina</i>	*	*		
<i>Acartia omorii</i>	*	*		*
<i>A. erythraea</i>		*	*	*
<i>A. pacifica</i>			*	
<i>A. sp.</i>			*	
<i>Calanus pacificus</i>	*			
<i>C. sinicus</i>	*	*		
<i>Centropages abdominalis</i>	*	*		*
<i>C. dorsispinatus</i>		*	*	
<i>Eurytemora pacifica</i>	*			*
<i>Labidocera acuta</i>		*		
<i>L. rotunda</i>		*	*	*
<i>Paracalanus parvus</i> s. l	*	*	*	*
<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	*	*	*	*
<i>Tortanus forcipatus</i>		*	*	*
<i>Corycaeus affinis</i>	*	*	*	*
<i>Oithona</i> sp.	*	*		*
unidentified harpacticoids		*		*
copepod nauplii	*	*	*	*
copepodites				
unidentified amphipods	*	*	*	*
unidentified cumacea sp.	*	*	*	*
unidentified ostracods				*
Cirriped nauplii and cyprii	*	*	*	*
<i>Sagitta crassa</i>	*	*	*	*
<i>S. enflata</i>			*	*
<i>Oikopleura dioica</i>	*		*	
Decapod larvae	*	*	*	*
Polycheate larvae	*	*	*	*
Gastropod larvae	*		*	
Bivalve larvae	*			*
<i>Ophiopluteus</i> larvae	*	*		*
Fish eggs and larvae		*	*	

*appearance.

에 평균 3.57 mg/l로 높게 나타났다. 화학적 산소요구량의 월별 정점 간 차이에서는 대체적으로 소호인근 해역의 정점에서 높게 나타났으며, 만 중앙부로 갈수록 낮게 나타나는 경향을 보였다. 엽록소 *a*의 농도는 1.31~23.01 $\mu\text{g/l}$ 의 범위로, 7월에 평균 10.29 $\mu\text{g/l}$ 로 가장 높게 나타났으며, 4월에 평균 5.48 $\mu\text{g/l}$ 로 가장 낮게 나타났다. 엽록소 *a*의 월별 정점 간 차이에서는 대체적으로 소호 인근 해역 정점에서 높은 값을 나타냈다.

동물플랑크톤 계절별 출현빈도와 개체수

연구 기간 동안 나타난 동물플랑크톤은 중 수준까지 동정된 22종을 포함하여 총 41개의 분류군이었고, 조사 시기별 분류군수는 24~28의 범위로 9월에 분류군이 가장 낮게 나타났다(Table 1). 4월의 평균 개체수는 1,383개체/ m^3 를 나타냈는데 분류군 중 요각류의 평균 개체수가 1,265개체/ m^3 로 전체 출현 개체수의 대한 출현빈도가 91.4%를 차지했으며(Fig. 3), 이 시기에 출현한 동물플랑크톤은 11개 분류군이였다. 특히, 동물플랑크톤 분류군 중 강내만성 종인 *Eurytemora pacifica*가 모든 정점에서 출현하였고, 평균 개체수는 888개체/ m^3 를 나타냈으며, 전체 출현

개체수의 64.2%의 출현빈도를 보였다.

7월로 접어들면서 요각류의 평균 개체수와 출현빈도가 각각 630개체/ m^3 , 34.8%로 봄철에 비해 다소 낮아지는 반면, 지각류의 출현빈도가 35.2%로 다소 높게 나타났으며, 정점 2를 제외한 모든 정점에서 출현하였다(Fig. 4). 특히, 지각류인 *Evadne tergestina*가 중앙부 해역 정점에서 1,000개체/ m^3 이상의 출현 개체수를 나타냈다. 반면, 요각류 중 *Paracalanus parvus* s. l은 정점 2를 제외한 모든 정점에서 출현하였는데, 이들의 출현빈도는 10.9%를 차지하였으며, 평균 개체수는 200개체/ m^3 이였다.

수온이 가장 높았던 9월에는 다시 요각류의 출현빈도가 89.6%로 나타났고, 모악류의 출현 개체수와 출현빈도가 각각 86개체/ m^3 와 4.3%로 요각류 다음으로 우점하는 분류군이였다(Fig. 5). 이 시기에는 *Acartia omorii*를 대신하여 고수온 종인 *A. erythraea*로 대체되어 출현하는 특성을 보였는데, 평균 출현 개체수가 1,449개체/ m^3 로 높은 출현 개체수를 보였으며, 출현빈도는 72%로 나타났다. 그 외에 *Tortanus forcipatus*가 모든 정점에서 출현하였으며, 평균 출현 개체수에서는 169개체/ m^3 로 나타난 반면, 모악류인 *Sagitta crassa*는 평균 출현 개체수는 78

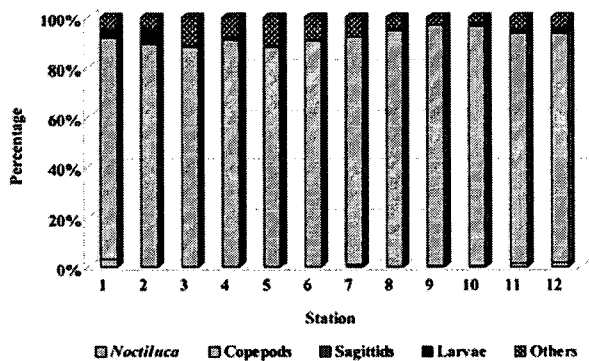


Fig. 3. Composition of major taxa in zooplankton community in Gamak Bay in April 2003.

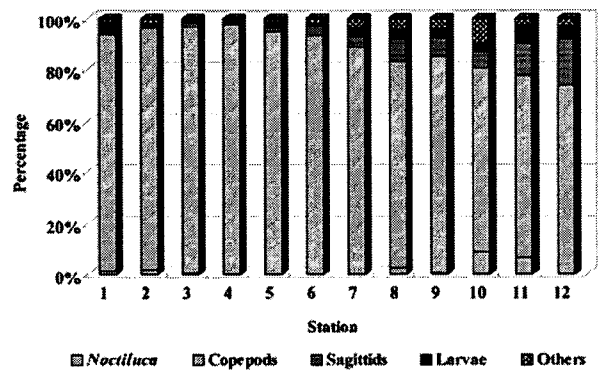


Fig. 5. Composition of major taxa in zooplankton community in Gamak Bay in September 2003.

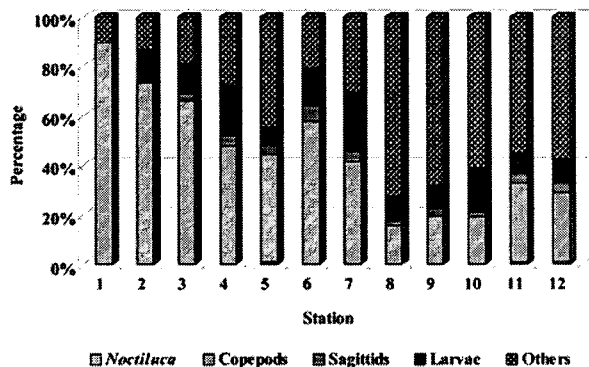


Fig. 4. Composition of major taxa in zooplankton community in Gamak Bay in July 2003.

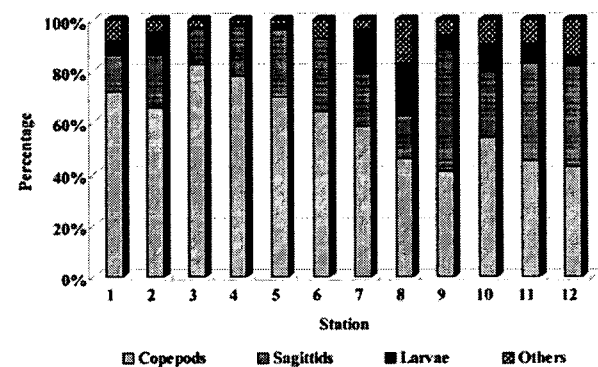


Fig. 6. Composition of major taxa in zooplankton community in Gamak Bay in November 2003.

개체/m³를 나타냈고, 전체 출현 개체수에 대한 출현빈도는 3.9%이었다.

11월로 접어들어 수온이 낮아지면서 *A. omorii*의 출현 빈도가 49%로 높아졌지만(Fig. 6), 출현 개체수는 평균 197개체/m³로 9월에 비해서 낮게 나타났다. 또한 모악류 *S. crassa*는 모든 정점에서 출현하였으며, 출현 개체수 범위는 20~214개체/m³로 나타났다. 반면, 해파리류는 모든 정점에서 극히 낮은 출현 개체수를 보여 요각류와는 대조적인 출현양상을 보였다.

요각류의 종조성 및 출현 개체수

가막만에 출현하는 동물플랑크톤 중 요각류는 전 조사

기간동안 총 16종이 출현하였고, 평균 출현 개체수는 270~1,803개체/m³의 범위로서 11월에 가장 낮았으며, 9월에 가장 높게 나타났다. 요각류의 종조성을 파악한 결과 조사 기간에 따라 차이가 있으나, 요각류 *E. pacifica*, *A. omorii*, *A. erythraea*, *Centropages abdominalis*, *P. parvus* s. l., *Pseudodiaptomus marinus*, *T. forcipatus*가 우점하였고, 기타 분류군에서는 지각류인 *E. tergestina*가 우점하는 것으로 나타났다(Fig. 7).

우점종들의 월별 출현 개체수를 살펴보면, 강 내만성 종인 *E. pacifica*는 4월과 11월에 출현하는 특성을 보였으며, 4월의 평균 출현 개체수는 888±624개체/m³로 높게 나타났고, 출현빈도에서는 69.4%로 우점하였다. 11월에는

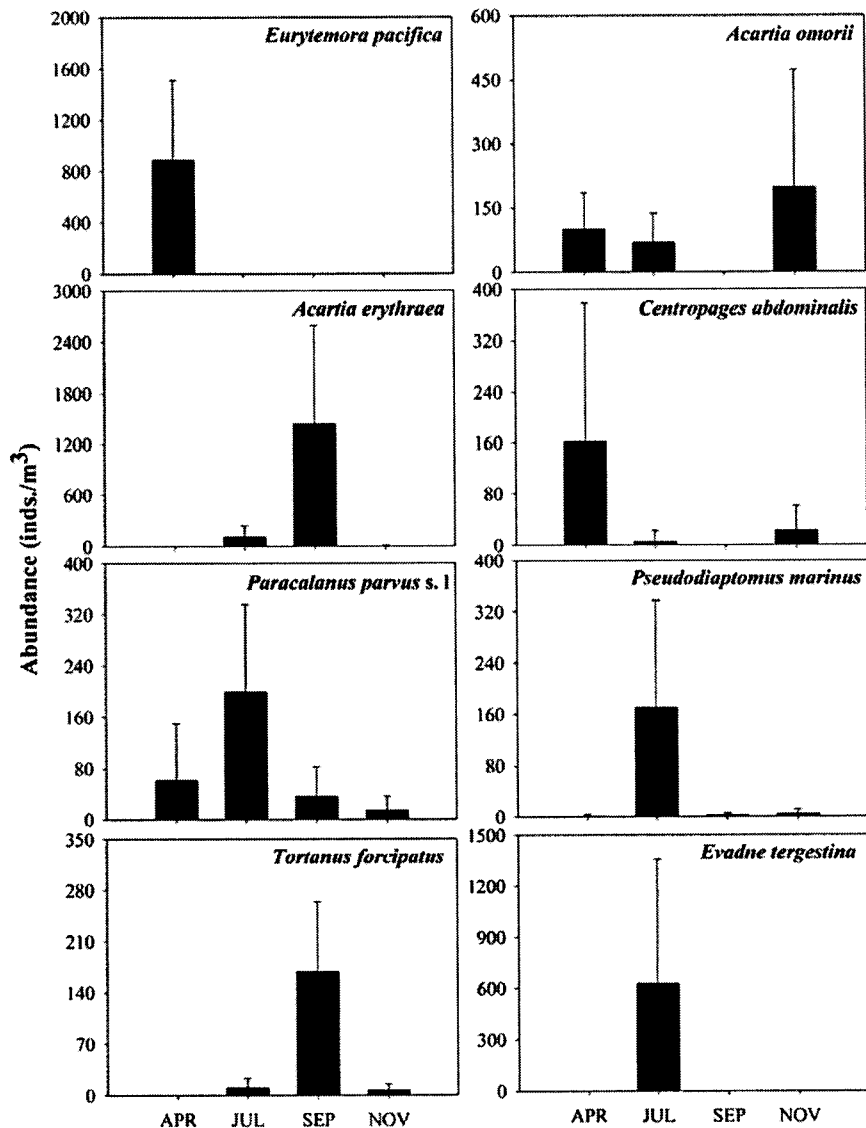


Fig. 7. Seasonal variation in abundance of dominant zooplankton in Gamak Bay in April, July, September and November, 2003.

정점 1에서 출현 개체수가 5개체/m³, 정점 5에서 출현 개체수가 10개체/m³로 매우 낮았으며, 다른 정점에서는 출현하지 않았다. *A. omorii*는 9월을 제외한 전 조사기간에 출현하는 특성을 보였으며, 4월에 평균 출현 개체수가 101±84개체/m³, 7월에는 70±67개체/m³, 11월에 평균 출현 개체수는 197±276개체/m³로 나타났으며, 이 시기의 출현빈도는 44.8%로 우점하였다. *A. erythraea*는 4월을 제외한 모든 조사기간에 출현하는 특성을 보였다. 이 종의 월별 평균 출현 개체수에서는 7월에 116±127개체/m³로 나타났으며, 수온이 가장 높은 시기였던 9월에는 1,449±1143개체/m³로 높게 나타났으며, 출현빈도는 72.1%로 가장 우점하는 종이였다. 11월에는 점차 수온이 낮아지면서 소호 인근 해역의 정점 1에서 15개체/m³로 낮은 출현 개체수를 나타냈을 뿐, 다른 정점에서는 출현하지 않았다. *C. abdominalis*는 9월을 제외한 조사기간 동안 출현하는 특성을 나타냈으며, 월 평균 개체수 범위에서는 4월에 평균 출현 개체수가 162±216개체/m³로 가장 높게 나타난 반면, 7월에는 평균 출현 개체수가 5±17개체/m³로 가장 낮게 나타났다. *P. parvus* s. 1은 전 조사기간 동안 출현하는 특성을 보였으며, 월 평균 개체수는 4월에 62±88개체/m³였고, 7월에 평균 200±136개체/m³로 조사기간 동안 가장 높은 출현 개체수를 나타냈다. *P. marinus*는 전 조사기간 동안 출현하는 특성을 나타냈으며, 7월에 평균 출현 개체수가 170±167개체/m³로 가장 높게 나타났다. *T. forcipatus*는 4월을 제외한 조사기간 동안에 출현하는 특성을 보였고, 평균 수온이 가장 높았던 시기인 9월에는 평균 출현 개체수가 169±95개체/m³로 가장 높았다. 미충류 *Oikopleura dioica*는 조사기간 동안 월별 출현 개체수에서 7월에 평균 213±182개체/m³로 가장 높게 나타났고, 지각류 *E. tergestina*는 9월에만 출현하는 특성을 보였으며, 평균 출현 개체수는 629±727개체/m³로 나타났다.

군집분석 및 환경요인

조사기간 동안 출현한 동물플랑크톤의 각 정점의 생태 환경을 분석을 위한 지표로서 출현 종수, 종 다양성 지수, 균등도 지수를 분석한 결과는 Fig. 8과 같다. 종 다양성 지수는 조사 기간 동안 큰 차이를 보였는데, 4월에 출현 종수는 평균 10±2종이었으며, 종 다양성 지수는 평균 0.98±0.51로 가장 낮게 나타났다. 이 시기의 정점별 다양성 지수에서는 만 입구쪽으로 갈수록 다양성 지수가 높게 나타났으며, 정점 13에서는 1.59로서 가장 높았다. 7월에는 출현 종수가 평균 14±4종이었고, 종 다양성 지수는 평균 1.91±0.21로 조사 기간 중 가장 높게 나타났으며, 소호 인근 해역보다는 만의 중앙부 해역인 대경도 주변 해역이 대체적으로 높았다. 정점별 종 다양도 지수에서는 4월보다 소호 인근 해역으로 갈수록 다소 높게 나타났으며, 범위는

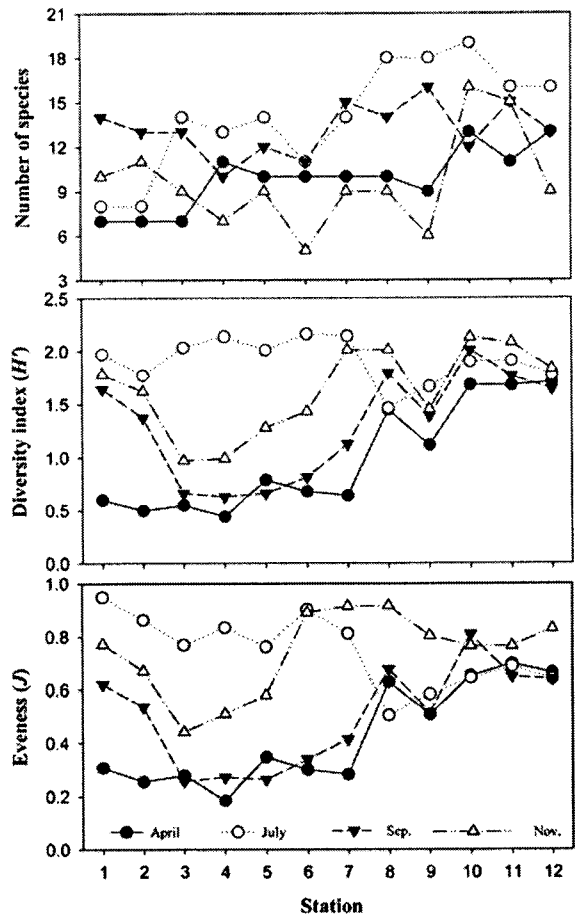


Fig. 8. Seasonal variation in species number, diversity index (*H'*) and evenness (*J*) of the zooplankton collected in Gamak Bay in April, July, September and November, 2003.

1.46~2.16로서 정점 12에서 가장 낮았다. 9월에 평균 출현 종수는 13±2를 나타냈고, 종 다양성 지수는 평균 1.29±0.50이었으며, 종 다양도 지수 범위는 0.63~2.01로 나타났다. 정점별 종 다양도 지수에서는 만의 중앙부 해역인 정점 6에서 가장 낮게 나타난 반면, 만 안쪽인 정점 2에서 가장 높아 정점간의 차이가 뚜렷하게 나타났다. 수온이 가장 낮은 시기였던 11월에 출현한 종수는 평균 10±3로서 4월과 종조성은 다르지만 출현하는 분류군 수는 비슷했다. 이 시기의 종 다양성 지수는 평균 1.63±0.41를 보였고, 범위는 0.97~2.13로 만 입구쪽으로 갈수록 높게 나타났다.

균등도 지수는 조사 기간과 정점들 간에 큰 차이를 나타냈다. 4월에 평균 0.43±0.19로 가장 낮았으며, 7월에 평균 0.75±0.14로 가장 높게 나타났다. 조사기간 동안 정점별 균등도 지수는 4월에 0.18~0.67 범위를 나타냈으며, 만 입구 정점들에서 높은 값을 나타냈다. 7월로 접어들면

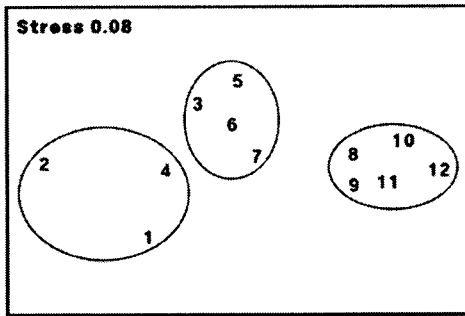
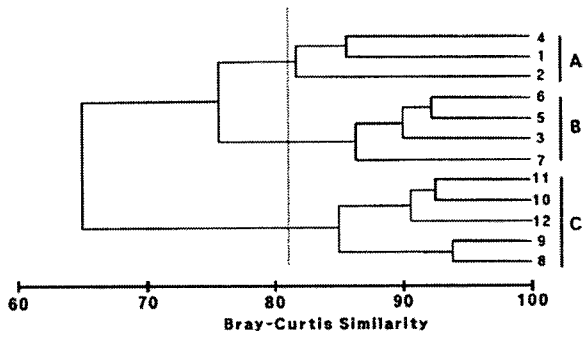


Fig. 9. Dendrogram of Bray-Curtis similarity and non-metric multidimensional scaling(NMDS) ordinations plot of sampling sites based on abundance of zooplankton in Gamak Bay in April 2003.

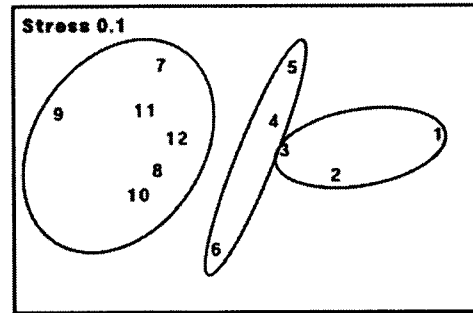
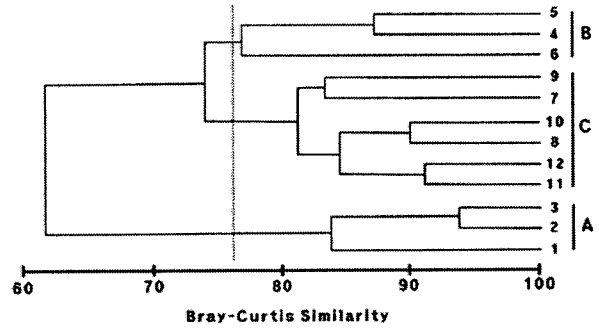


Fig. 11. Dendrogram of Bray-Curtis similarity and non-metric multidimensional scaling(NMDS) ordinations plot of sampling sites based on abundance of zooplankton in Gamak Bay in September 2003.

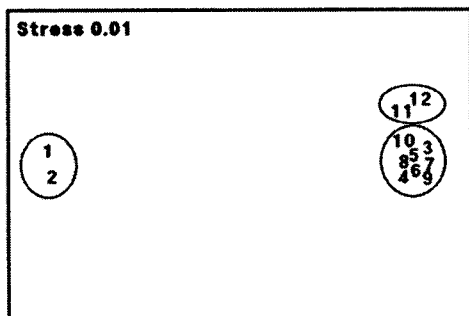
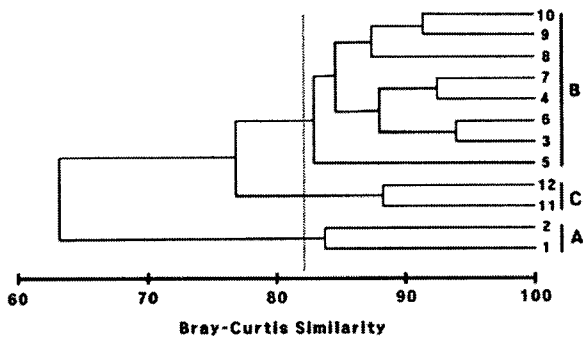


Fig. 10. Dendrogram of Bray-Curtis similarity and non-metric multidimensional scaling(NMDS) ordinations plot of sampling sites based on abundance of zooplankton in Gamak Bay in July 2003.

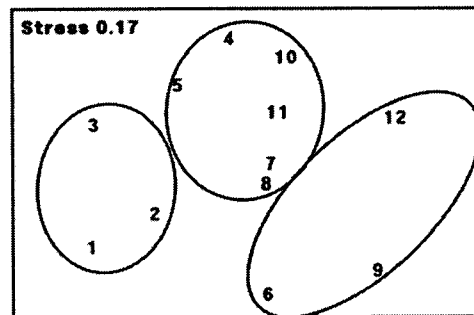
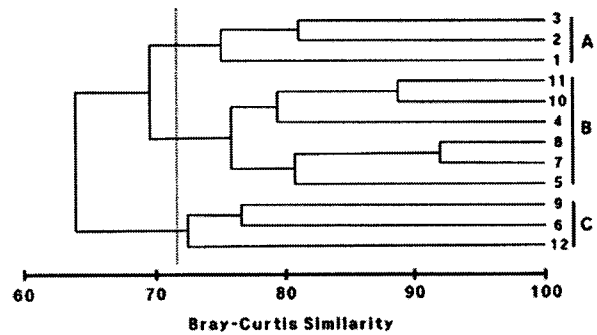


Fig. 12. Dendrogram of Bray-Curtis similarity and non-metric multidimensional scaling(NMDS) ordinations plot of sampling sites based on abundance of zooplankton in Gamak Bay in November 2003.

서 균등도 지수 범위가 0.51~0.95로서 정점 1에서 가장 높게 나타났으며, 만 입구 인근의 정점으로 갈수록 낮게 나타났다. 9월의 균등도 지수의 범위는 0.26~0.81 범위를 보였고, 정점 10에서 가장 높게 나타났다. 11월에는 0.42~

0.92 범위를 보였고, 정점 7에서 가장 높게 나타났다.

Table 2. Results of the ANOSIM and pair-wise tests for difference on zooplankton community between groups of Gamak Bay. Analyses groups of the Bray-curtis transformed data.

		Zooplankton	
		Global R	p value
April	Global test	0.948	0.001
	Groups compared		
	a vs. b	0.796	0.029
	a vs. c	1.000	0.018
	b vs. c	1.000	0.008
July	Global test	0.844	0.002
	Groups compared		
	a vs. b	1.000	0.022
	a vs. c	1.000	0.333
	b vs. c	0.677	0.022
September	Global test	0.705	0.002
	Groups compared		
	a vs. b	0.500	0.300
	a vs. c	0.833	0.008
	b vs. c	0.721	0.028
November	Global test	0.757	0.001
	Groups compared		
	a vs. b	0.920	0.012
	a vs. c	0.778	0.100
	b vs. c	0.654	0.012

동물플랑크톤의 출현 빈도에 대한 Bray-Curtis 유사도 지수 자료를 사용하여 NMDS 배열법으로 군집분석을 실시한 결과 조사 기간동안 다소 차이를 보였지만, 세 Group으로 구분되었다(Figs. 9~12). 소호 인근 해역의 정점들인 Group A, 북부해역에 위치하고 있는 정점들이 Group B, 만 중앙부 정점인 Group C로 구분 되어졌으며, 세 Group간에 나타나는 종들의 조성은 ANOSIM 평가를 실시한 결과 유의한 차이를 보였다(Table 2). 반면, 세 해역간의 출현 개체수에서는 Group B에서 가장 높았으며, Group A에서 가장 낮은 출현 개체수를 보였지만, 세 Group간의 유의한 차이는 보이지 않았다. 그러나 세 Group간의 종 수(one-way ANOVA test, $F=17.02$, $P=0.001$)와 다양성 지수(one-way ANOVA test, $F=16.09$, $P=0.001$)는 유의한 차이를 보였다.

조사기간 동안 군집분석에 의해 구분되어진 세 해역의 구분에 영향을 끼친 동물플랑크톤의 SIMPER 분석 결과를 살펴보면 (Tables 3~6), 4월에는 *E. pacifica*, 요각류 미성숙체(copepodite), polychaete larvae, *A. omorii*, *Calanus sinicus*, *P. parvus* s. 1 및 *C. abdominalis*의 기여도가 높게 나타났으며, 7월에는 *P. parvus* s. 1, *C. abdominalis*, *Oithona* sp., *A. omorii*, *E. tergestina*, *O. dioica*와 십각류 유생이 세 Group의 구분에 크게 영향을 미쳤다. 수온이 가장 높은 기간이었던 9월에는 상대적으로 요각류가 세 Group의 구분에 높은 영향을 끼쳤는데, *A. erythraea*, *Acartia* sp., *T. forcipatus*, *S. crassa*와 *O. dioica*의 기여도가 높게 나타나지만, 세 Group간에 미치는 종의 차이는 크지 않았다. 11월에는 9월과 유사한 종들에 의해서 세 Group으로 구분되어졌지만, 기여도는 다르게 나타났다. 각 Group 구분에 영향을 미치는 동물플랑크톤을 SIMPER

Table 3. Summary of results from a SIMPER analysis, comparing the major aspects of the zooplankton communities across the three groups in Gamak Bay on April 2003.

Group	Species	Contribution (%)	Accumulation (%)
A	<i>Eurytemora pacifica</i>	41.39	41.39
	Copepodite	22.17	63.56
	Polychaete larvae	16.41	79.96
	<i>Acartia omorii</i>	11.04	91.01
B	<i>Eurytemora pacifica</i>	33.21	33.21
	Copepodite	22.23	55.44
	<i>Acartia omorii</i>	20.61	76.04
	<i>Calanus sinicus</i>	6.5	82.54
C	<i>Centropages abdominalis</i>	18.50	18.50
	<i>Acartia omorii</i>	15.96	34.46
	<i>Paracalanus parvus</i> s. 1	15.02	49.48
	<i>Eurytemora pacifica</i>	14.17	63.65

Table 4. Summary of results from a SIMPER analysis, comparing the major aspects of the zooplankton communities across the three groups in Gamak Bay on July 2003.

Group	Species	Contribution (%)	Accumulation (%)
A	<i>Paracalanus parvus</i> s. l	20.63	20.63
	<i>Centropages abdominalis</i>	20.55	41.29
	<i>Oithona</i> sp.	18.00	59.19
	<i>Acartia omorii</i>	17.50	76.69
B	<i>Evadne tergestina</i>	11.19	11.19
	<i>Oikopleura dioica</i> .	10.96	22.15
	Decapod zoea and mysids	10.96	33.11
	<i>Pseudodiaptomus marinus</i>	10.65	43.75
C	<i>Evadne tergestina</i>	13.82	13.82
	<i>Paracalanus parvus</i> s. l	12.15	25.97
	<i>Oikopleura dioica</i> .	9.54	35.51
	Decapod zoea and mysids	9.54	45.04

Table 5. Summary of results from a SIMPER analysis, comparing the major aspects of the zooplankton communities across the three groups in Gamak Bay on September 2003.

Group	Species	Contribution (%)	Accumulation (%)
A	<i>Acartia erythraea</i>	16.07	16.07
	<i>Acartia</i> sp.	12.26	28.33
	<i>Tortanus forcipatus</i>	10.32	38.65
	Copepodite	9.01	47.66
B	<i>Acartia erythraea</i>	22.83	22.83
	<i>Tortanus forcipatus</i>	11.97	34.80
	<i>Acartia</i> sp.	10.98	45.78
	<i>Sagitta crassa</i>	10.07	55.85
C	<i>Acartia erythraea</i>	16.41	16.41
	<i>Tortanus forcipatus</i>	13.72	30.13
	<i>Sagitta crassa</i>	11.13	41.26
	<i>Oikopleura</i> spp.	8.83	50.09

Table 6. Summary of results from a SIMPER analysis, comparing the major aspects of the zooplankton communities across the three groups in Gamak Bay on November 2003.

Group	Species	Contribution (%)	Accumulation (%)
A	<i>Acartia erythraea</i>	28.21	28.21
	<i>Acartia omorii</i>	21.23	49.44
	<i>Tortanus forcipatus</i>	12.51	61.95
	Copepodite	11.80	73.74
B	<i>Acartia erythraea</i>	19.38	19.38
	<i>Tortanus forcipatus</i>	18.88	38.26
	<i>Acartia omorii</i>	13.52	51.78
	<i>Sagitta crassa</i>	11.27	63.05
C	<i>Acartia erythraea</i>	41.46	41.46
	<i>Tortanus forcipatus</i>	33.27	74.74
	<i>Sagitta crassa</i>	9.16	83.90
	<i>Oikopleura dioica</i> .	9.00	92.90

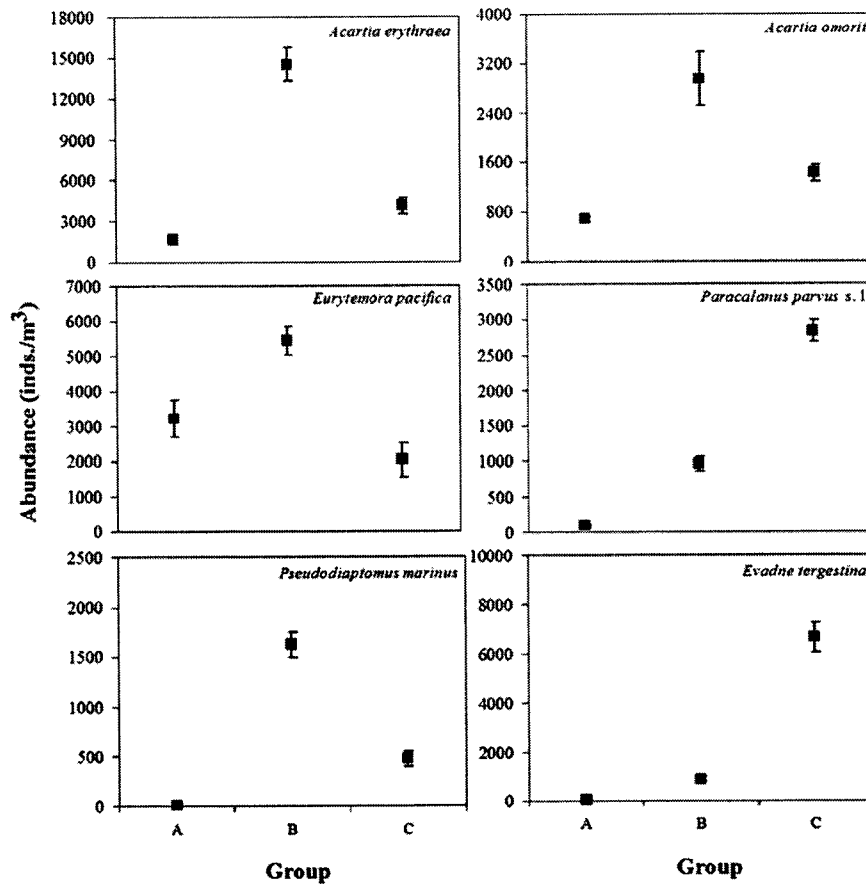


Fig. 13. Abundance of the zooplankton species that contributed most to the breakdown of average similarities(SIMPER) within the respective sites.

Table 7. The results of Spearman rank order correlation between the dominant species and environmental variables in Gamak Bay. *, $P \leq 0.05$; **, $P \leq 0.01$; and ns is not significant.

Species	Temp	Salinity	pH	DO	COD	Chl-a
<i>Acartia erythraea</i>	0.876**	-0.809**	ns	ns	ns	0.445**
<i>Acartia omorii</i>	ns	0.296*	-0.492**	0.559**	ns	ns
<i>Paracalanus parvus s. l</i>	ns	ns	ns	ns	-0.400**	ns
<i>Calanus sinicus</i>	-0.577**	0.441**	ns	ns	ns	ns
<i>Centropages abdominalis</i>	-0.559**	0.625**	ns	0.459**	ns	-0.495**
<i>Eurytemora pacifica</i>	-0.747**	0.484*	ns	ns	ns	ns
<i>Sagitta crassa</i>	0.439**	-0.389*	ns	ns	ns	ns
<i>Evadne tergestina</i>	ns	ns	ns	-0.304*	ns	ns

분석한 결과에서는 *A. erythraea*, *A. omorii*, *E. pacifica*가 Group B에서 높은 출현 개체수를 보였으며, *P. parvus s. l* 과 *E. tergestina*는 Group C에서 높은 출현 개체수를 나타냈다(Fig. 13).

조사기간 중 동물플랑크톤 총 출현 개체수 및 전체 출현 개체수의 상위 0.5%를 차지한 우점종에 대한 환경요인

과의 상관관계를 분석한 결과는 Table 7과 같다. 수온은 *A. erythraea*, *S. crassa*와 양의 상관관계를 나타냈으며, *C. sinicus*, *C. abdominalis*, *E. pacifica*와는 음의 상관관계를 나타냈다. 염분은 *A. omorii*, *C. sinicus*, *C. abdominalis*, *E. pacifica*와 양의 상관관계를, *A. erythraea*, *S. crassa*와는 음의 상관관계를 보였다. 용존산소는 *A. omorii*와 *C.*

*abdominalis*의 출현 개체수에서 양의 상관관계를, *E. tergestina*는 음의 상관관계를 나타냈다. 결과적으로, 우점 종들과 환경요인과의 상관분석 결과 높은 상관관계를 나타내는 환경요인들은 계절과 중에 따라서 약간의 차이는 보였지만, 대부분 수온과 염분, 용존산소와의 상관성이 강하게 나타났으며, 나머지 환경요인들은 통계적으로 낮은 유의성을 보였다.

4. 고찰

동물플랑크톤 군집 특성

동물플랑크톤 군집은 외해에서 물리·화학·생물학적으로 서로 다른 속성을 가진 두 수괴가 만나 혼합이 이루어지는 수역인 전선역(front zone)과 해류(current)의 특성과 같은 물리적인 수괴의 환경 특성에 의해 강하게 영향을 받게 되어(박 등 1992; 박과 최 1997; 이 등 2004), 상대적으로 연안 해역에 비해 높은 종 다양성을 나타내지만, 출현 개체수는 낮게 나타나는 특징을 보인다고 하였다(Kimmerer 1993; 이 등 2004). 이에 반하여 온대 연안 해역의 동물플랑크톤의 군집은 수괴의 계절적 변화 중 수온, 염분, 먹이 조건 등의 영향을 강하게 받는데(Haury et al. 1992), 본 연구에서 출현한 동물플랑크톤 군집 양상도 온대 연안 해역과 유사한 분포 특성을 보였으며, 소수 우점종에 의한 높은 출현빈도와 많은 출현 개체수가 나타난 점은 기존에 가막만에서 보고 된 연구 결과와 일치하는 부분이다(심과 노 1982; 서 등 2002).

본 연구에서 출현하는 동물플랑크톤의 출현 특성을 기

존의 가막만에서 수행되었던 연구 결과들과 비교해보면, 종조성은 40~47종의 범위를 나타냈으며, 우점하는 종조성은 유사하였지만, 평균 출현 개체수에서는 1,407~142,427 개체/m³의 범위를 보여 본 연구 결과가 심과 노(1982)의 연구 결과보다 100배 정도의 많은 차이를 보였다(Table 8). 이러한 결과는 동물플랑크톤을 채집할 때 네트의 입구 크기, 인양시간, 예인 속도, 예인 방법, 채집 시기 등이 동물플랑크톤의 분포와 출현 개체수에 직접적으로 영향을 미쳤을 가능성이 높다고 판단되는데(UNESCO 1968; Roemmich and McGowan 1995), 이들 요인 중 네트의 종류와 망목크기를 달리할 경우에 동물플랑크톤의 종조성과 출현 개체수의 차이가 나타날 수 있음을 보고하였듯이(박과 최 1997; 강과 강 2002; 이와 박 2004), 본 연구에서는 네트의 망목 크기가 심과 노(1982)보다 다소 큰 점을 감안할 때 네트의 망목 크기가 채집된 동물플랑크톤의 출현 개체수 자료에 직접적인 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

가막만의 동물플랑크톤 군집 양상은 계절적인 영향뿐만 아니라, 조사해역 간의 수온과 염분, 그리고 용존산소 농도에 따라 다르게 나타났다. 수온이 비교적 낮고, 수층의 혼합이 비교적 원활한 시기인 4월과 11월에는 요각류의 출현빈도가 전체 출현 개체수의 91.4%, 67.3%를 차지하여 가장 높게 나타났다. 반면, 수괴가 성층화 되어있는 7월에는 요각류와 지각류의 출현빈도가 34.4%, 34.8%로 각각 낮게 나타났고, 9월에는 다시 요각류의 출현빈도가 89.6%로 증가하는 특성을 보였다. 특히, 7월에는 지각류 *Evadne tergestina*가 요각류보다 상대적으로 높은 출현빈도를 나타냈는데, 이 종은 주로 연안에서 식물플랑크톤과

Table 8. Summary of zooplankton community studies in Gamak Bay.

Month	Sampling interval	Sampling net	Sampling times	Number of sites	Number of species	Mean abundance (inds/m ³)	Dominant species (>5% of total abundance)	% of copepods	References
1979. 8-11 1980. 5	Monthly	Clarke-Bumpus plankton sampler (160 μm)	5	5	47	142,427	<i>Evadne tergestina</i> ¹ <i>Paracalanus parvus</i> s. f. ² <i>Acartia erythraea</i> ² <i>Centropages yamadae</i> ² <i>Oithna</i> spp. ² <i>Corycaeus affinis</i> ²	49.6	심과 노 (1982)
2001. 4-12	Seasonally	Norpac net (330 μm)	4	14	43	3,359	<i>Noctiluca scintillans</i> <i>Evadne tergestina</i> ¹ <i>Acartia omorii</i> ² <i>Acartia erythraea</i> ² <i>Eurytemora pacifica</i> ²	49.6	서 등 (2002)
2003. 4-11	Seasonally	Norpac net (330 μm)	4	12	40	1,407	<i>Podon polyphemoides</i> ¹ <i>Acartia omorii</i> ² <i>Acartia erythraea</i> ² <i>Eurytemora pacifica</i> ² <i>Paracalanus parvus</i> s. f. ²	69.3	This study

¹Cladocerans; ²Copepods.

매우 작은 입자를 섭식하며, 수온(Ramirez and Perez 1985)과 먹이 생물의 분포(Conover 1978)에 따라서 분포가 결정되며, 부영양화 된 내만에서 처녀생식(parthenogenetic reproduction)을 통하여 짧은 시기에 폭발적으로 개체군의 크기가 증가한다는 종의 분포 특성을 살펴볼 때(Longhurst and Seilbert 1972; Onbe 1977; Kim *et al.* 1993), 이 종의 분포 중심이 가막만 중앙부 해역인 점은 연구 해역의 먹이 생물의 우점종 변화와 함께 먹이 농도의 증가가 진행되어 이들의 생식활동에 영향을 미쳤을 가능성이 높은 시기였던 것으로 판단되지만, 이들의 먹이 농도와 휴면란 분포는 본 연구에서는 직접적인 계측은 실시하지 못하였다.

서 등(2002)은 가막만에서 연중 야광충(*Noctiluca scintillans*)의 시·공간적 분포 특성이 외양수의 영향을 받는 만 입구에 위치한 해역에서 600개체/m³ 이상의 출현 개체수를 보였을 뿐, 그 이외의 해역에서는 거의 출현하지 않는다고 보고하였다. 하지만, 기존의 연구 결과들과 본 연구 기간동안 출현했던 야광충은 출현 개체수에서만 차이가 보였을 뿐, 분포 특성은 일치하는 부분이나 정량적인 평가를 실시되지 않아 직접적인 비교가 어려운 부분이 있었다. 일반적으로 야광충은 봄철과 가을철에 식물플랑크톤의 대증식이 발생하는 시기에 출현 개체수가 높아지는데(윤과 최 2003), 박과 허(1997)는 이 종의 정량적인 채집과 분석을 위해서는 네트를 사용하는 것 보다 채수를 통하여 채집을 해야 신뢰성이 높다고 보고한 바 있다. 이런 이유에서 볼 때, 본 연구에서는 조사기간 동안에 야광충의 출현 개체수가 현저하게 낮게 나타난 점은 이 종의 대량 증식이 발생할 수 있는 환경 조건보다는 네트를 이용하여 채집하는 과정에서 오는 막힘(clogging) 효과에 의한 정량적인 채집의 어려움이 있었다고 판단되어진다.

가막만 동물플랑크톤 군집에 대한 연구 결과에서는 우점하는 종들의 변화 양상을 살펴보면, 심과 노(1982)의 연구 결과에서 우점하는 종들은 지각류 *E. tergestina*, 요각류 *P. parvus* s. l., *A. erythraea*, *Centropages yamadai*, *Oithona* sp., *Corycaeus affinis* 등이었지만, 서 등(2002)의 결과에서는 우점종이 야광충과 강내만성 요각류인 *E. pacifica*로 우점종이 바뀌는 양상을 나타냈다. 지금까지 가막만에서 연구되었던 결과들과 본 연구의 우점종 변화를 살펴볼 때, *A. erythraea*와 *E. pacifica*로 서 등(2002)과 비슷한 결과를 보였고, 연구 기간동안 이 두 종의 분포 특성에서는 *A. erythraea*가 7월과 9월에 전 조사 정점에서 출현 개체수가 높게 나타났다. *A. erythraea*의 경우 보편적으로 여름철에 가장 높은 출현 개체수를 나타내는데, 서 등(2002)는 가막만 해역에서 출현하는 *Acartia* 속의 2종인 *A. omorii*와 *A. erythraea*의 계절적 분포 양상에 대해서 저수온기에 *A. omorii*가 우점하다가 고수온기가 되면 *A. erythraea*로 계절적인 천이가 발생함을 보고하였다. 본 연

구에서도 *A. omorii*의 계절적인 분포 특성은 기존에 가막만에서 보고된 결과와 일치하는 부분이다. 이 종의 공간적 분포 양상에서는 조사 기간에 따라 다소 차이를 보였지만, 9월을 제외한 대부분의 시기에 중앙부 해역(정점 8, 9)에서 소호 해역(정점 4, 5)에 이르는 가막만 내만 해역이 분포 중심이었음을 확인할 수 있었으며, 수온이 15°C 이하 낮아졌던 4월과 11월에 출현 개체수가 높게 나타났다. 수온이 15~23°C 범위에서는 출현 개체수가 증가하는 현상을 나타낸 반면, 수온이 24°C로 가장 높았던 9월에는 개체수가 급감하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 요각류 중 많은 종들이 수온에 대한 생리적 적응이 다르기 때문이며(Kimmerer and McKinnon 1985), 온대 연안 수역에서 저수온기에 주로 출현하는 *Acartia* 속 종들은 수온이 증가하면서 신진대사율이 높아지고 자연 수명이 급격히 짧아진다는 연구 결과와 관련이 깊다(Kimmerer and McKinnon 1987; Uye 1981). 결론적으로 *A. omorii*의 경우 수온이 출현 개체수의 영향을 강하게 받는 것으로 판단되지만 이러한 결과는 대부분 요각류의 개체군 가입량을 결정하는 주 요인이 난생산력이라고 지적하였듯이(Uye 1981; 강과 강 1998), 가막만에서 이종의 군집동태에 대한 자료의 신빙성을 높이기 위해서는 수온에 따른 사육 실험을 통한 난생산력 연구와 함께 이를 뒷받침해줄 수 있는 집중적인 현장자료가 필요하다고 판단된다.

*E. pacifica*는 4월에 가막만 소호 인근 해역의 정점들에서 높은 출현 개체수를 보이는데, 박 등(2002)은 섬진강 하구역에서 이종의 수온에 대한 분포 범위는 4.4~16.7°C 범위에서 주로 출현한다고 보고하였으며, 출현 개체수는 수온이 4.6°C에서 가장 높다고 보고한 바 있다. 본 연구 결과에서도 수온이 12.2~12.6°C 범위였던 4월에 분포 중심이 소호 인근 해역(정점 2, 3)이었다는 점을 미루어 볼 때 강내만성 종임을 확인할 수 있었으며, 수온이 12.5°C에서 가장 높은 출현 개체수를 보인다는 점은 박 등(2002)의 결과와 일치하는 부분이다. 특히, *E. pacifica*의 분포 중심이 소호 인근 해역이라는 것은 내만에 특징적으로 분포하는 이 종의 출현 특성을 살펴볼 때(Ueda 1982), 휴면란에 의해서 일시적으로 대량증식을 할 수 있다는 가능성(Grice and Marcus 1981)과 최근 수년간 연안해역의 산업화와 도시화에 의한 지속적인 생활하수 및 산업폐수의 유입으로 인해 가막만 소호 인근 해역의 부영양화를 진행시키고 동시에 지형적인 영향으로 해수의 수렴현상이 일어나 결과적으로 가막만 북서부 해역의 수질 악화를 초래시켜 *E. pacifica*의 출현 개체수가 지속적으로 높게 유지되고 있다고 판단된다(조 등 1994; 윤 2000; 서 등 2002).

동물플랑크톤 군집 구조와 환경 요인

동물플랑크톤 군집을 분석한 결과 NMDS 배열법에 의

해 구분된 Group은 소호 인근 해역인 Group A, 조사해역의 북서부에 위치하는 Group B, 그리고 남부에 위치한 Group C로 크게 3개의 Group으로 구분되었다. Group A는 소호 인근 해역에 위치한 정점들로서 연안종인 *A. omorii*, *A. erythraea*, 강 내만성종인 *E. pacifica*가 높은 출현개체수를 보였다. Group B에서는 위의 세 종과 함께 *Pseudodiaptomus marinus*, 십각류 유생, *Oikopluera dioica*로 나타났으며, Group C에서는 *E. tergestina*와 *Paracalanus parvus* s. 1 및 *Tortanus forcipatus*가 높은 출현 개체수를 나타냈다. 군집에 미치는 종들 중 *E. pacifica*, *A. omorii*, *A. erythraea*가 상대적으로 높은 기여도를 나타냈으며, 대부분 연안 해역에서 높은 출현 개체수를 보이는 연안종들이었다(Ueda 1986; 한 등 1995; 서 등 2002, 2004). 특히, 이들의 분포 특성 중 *A. omorii*는 수괴가 정체되고 부영양화가 진행되는 내만해역의 유기 오염 지표종으로서 활용 가치가 있다고 보고한 바 있다(Ueda 1986; 강 등 1996).

동물플랑크톤 군집에 영향을 미치는 우점종에서는 *A. erythraea*가 Group B 해역에서 높은 출현 개체수를 보였고 Group A 해역에서는 *E. pacifica*의 영향이 높게 나타났다. *A. erythraea*는 여수 근해와 광양만에서는 하계에 높은 출현 개체수를 보이는 종으로서(심과 노 1982; 장 등 2004), 수온이 20°C 이상이 되면 분포가 확인되는 종이라도 보고하였으며(박 등 2002; 김 등 2000), 소호 인근 해역(정점 3, 4)을 중심으로 분포 중심이 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 박 등(2002)의 결과에서는 이종은 수온이 26.6°C에서 가장 높은 출현 개체수를 보인다는 보고하였는데, 본 연구 결과에서도 9월의 수온이 25°C에서 출현 개체수가 가장 높게 나타난 점은 기존의 결과와 일치하는 부분이다.

종 다양성 지수는 봄철보다 겨울철에 높게 나타났는데, 이러한 이유는 해양생물의 군집에서 종 다양성을 결정하는 것은 대다수를 구성하는 희소종(rare species)라는 점과 연구 해역의 오염도가 낮은 해역에서 종 다양성 지수가 높고 오염이 진행되면 종 다양성 지수가 낮아진다는 점을 비추어 볼 때, 이는 연구 해역의 계절에 따른 수온 변화에 따라 동물플랑크톤의 생리적 적응현상과 생물군집의 생태적 특성, 그리고 수괴의 계절변동 특성이나 조사 정점 수 차이에 의해서 나타나는 결과로 판단된다(Huntly and Boyd 1984; 서와 서 1993).

동물플랑크톤 우점종의 출현 개체수와 환경자료를 이용하여 상관분석을 실시한 결과 동물플랑크톤 군집에 크게 미치는 환경요인은 종간의 차이는 다소 있지만 우점종들의 대부분은 수온, 염분, 용존산소와 상관 관계가 높게 나타났다. 수온은 *A. erythraea*, *E. pacifica*, *C. sinicus*, *C. abdominalis*, *S. crassa*가 유의한 상관성을 보였으며, 염분은 위의 5종을 포함한 *A. omorii*와 유의한 상관성을 나타

냈다. 용존산소는 *A. omorii*, *C. abdominalis*, *E. tergestina*와 유의한 상관성을 나타냈다. 이러한 결과는 다수의 우점종을 포함한 가막만의 전반적인 동물플랑크톤의 군집 양상은 연구 기간동안 수온과 염분, 그리고 용존산소 영향을 받고 있음을 시사하는 부분이다. 일반적으로 가막만과 같은 연안 해역의 동물플랑크톤 군집의 시·공간적인 분포를 결정하는 요인으로는 수온, 염분, 먹이 조건(Haury et al. 1992)과 그 해역의 해양환경에 영향을 받으며, 종간의 계절적 천이는 식물플랑크톤의 종조성과 현존량(Calbet et al. 2001)에 영향을 받는다. 이러한 이유에서 해양환경 변동 상태를 설명해 주는 데 특정한 환경이나 해역에서 제한적으로 분포하는 지표성 종이 잘 이용되고 있다(Colebrook 1964; 강 등 1996).

가막만과 같은 반폐쇄성 내만에서 유입되는 영양염은 대부분 인간 활동에서 비롯된 질산염과 인산염이 대부분이며, 이를 활발히 이용하여 대발생을 일으킨 식물플랑크톤은 해수내의 규산염 농도를 감소시켜 규조류 이외의 식물플랑크톤이 우점하는 환경이 나타나게 되는데, 이 과정에서 빈번히 나타나는 식물플랑크톤의 대발생의 결과로 저 산소층 환경이 악화되어, 결과적으로 동물플랑크톤의 출현량이 저하되기도 한다고 보고한 바 있다(Stalder and Marcus 1997; Keister et al. 2000). Keister et al.(2000)는 용존산소가 2 mg/l 이하인 빈산소 수층에서는 요각류의 나우플리우스가 평균 20.4±22.31개체/l가 출현한다고 보고하였고, 2 mg/l 이상인 수층에서는 91.0±13.1개체/l를 보여 용존산소가 동물플랑크톤 중 우점 분류군인 요각류의 출현량에 직접적으로 미친다는 것을 보고하였다. 하지만 본 연구 결과와 같은 동물플랑크톤의 군집 분포 자료에 미치는 용존산소의 영향에 대한 자료의 신뢰성을 높이기 위해서는 용존산소 농도에 따른 사육실험을 통한 자료 분석이 필요하다고 판단된다.

이상의 결과들을 요약하면, 가막만 북서부 해역을 제외한 나머지 해역에서 동물플랑크톤 군집에 미치는 환경요인으로는 수온, 염분, 용존산소이었다. 군집에 영향을 미치는 동물플랑크톤을 분석한 결과 정체성 해역인 북서부 해역은 대부분 환경이 악화되었을 때 휴면란을 생성할 수 있는 내만성 종들로 구성되어져 있으며, 이는 1990년대 가막만 연안 해역의 급속한 산업화와 도시화에 따른 지속적인 물리, 화학적인 요인의 변화와 함께 준설과 매립에 따른 환경 변화가 동물플랑크톤의 종조성과 우점종에 영향을 주어, 군집구조의 변화를 초래한 것으로 판단된다. 이러한 가막만의 동물플랑크톤 군집 특성에 대한 해석의 신뢰성을 높이기 위해서는 군집에 미치는 지표성 종들의 대한 휴면란 연구와 함께 생활사와 같은 생리, 생태학적 연구를 바탕으로 한 장기적인 연구가 뒷받침되어야 할 것이다.

5. 요약

가막만에 분포하는 동물플랑크톤의 종조성과 분포 양상을 밝히고, 군집에 미치는 환경요인을 파악하기 위해 2003년 4월, 7월, 9월, 11월에 총 12개 정점에서 조사하였다. 동물플랑크톤은 총 43개의 분류군이었으며 평균 출현 개체수는 270~1,803개체/m³의 범위를 보였지만 시·공간적인 변동폭이 다소 크게 나타났다. 우점종은 요각류 *A. erythraea*, *E. pacifica*, *A. omorii*, *P. parvus* s. l, 지각류인 *P. polyphemoides*이었다. 동물플랑크톤 군집은 3개의 Group으로 구분되어졌으며, 정체성 해역인 소호 인근의 Group A, 가막만 중앙부해역인 Group B, 비교적 해수 소통이 원활한 남부해역인 Group C로 구분되었다. 군집으로 구분되는 세 Group간에 종수와 다양성 지수는 군집에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타난 반면($p < 0.05$), 평균 출현 개체수는 유의한 영향을 미치지 않았다($p > 0.05$). 본 연구에서 조사된 환경 자료를 이용하여 분석한 결과 동물플랑크톤의 군집에 미치는 환경요인을 분석한 결과는 수온, 염분, 용존산소로 나타났다. 결과적으로 가막만 동물플랑크톤의 군집 특성을 볼 때 소호 인근 해역은 급속한 산업화와 도시화로 인하여 지속적인 생활하수의 유입의 영향을 받고 있으며, 남부 해역의 군집은 계절에 따른 만외수의 영향을 받아 계절에 따른 군집양상이 바뀌는 것으로 판단된다.

사 사

본 논문을 세심하게 검토해 주신 익명의 세 분의 심사위원님과 현장조사와 실험에 도움을 준 전남대학교 양식환경생태학 실험실원들에게 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- 강영실, 박주석, 이삼석, 김학균, 이필용. 1996. 진해만 수질 환경과 동물플랑크톤 군집 및 요각류 분포 특성. *한국수산학회지*, 29, 415-430.
- 강형구, 강용주. 1998. 한국 동해 남부 연안 일광만의 요각류 *Acartia steueri*의 알 생산력. *한국수산학회지*, 31, 288-295.
- 강형구, 강용주. 2002. 네트 망목 크기가 *Acartia steueri* (Copepoda: Calanoida)의 생체량추정에 미치는 영향. *한국수산학회지*, 35, 445-450.
- 김광수, 이종빈, 이관식, 강장원, 유형빈. 2000. 섬진강 하류 계의 요각류 군집에 관한 생태학적 연구. *한국수산학회지*, 33, 176-186.
- 김용서, 장민철. 2001. 황해 소난지도 인근해역에서 조류에 따른 요각류 개체수의 변화. *한국환경생물학회지*, 19, 137-145.
- 박주석, 이삼석, 강영실, 이병돈, 허성희. 1992. 황해 동남 해역의 수괴지표성 요각류 및 모악류의 분포와 수괴특성. *한국수산학회지*, 25, 251-264.
- 박철, 이평강, 양성렬. 2002. 계절과 염분 변화에 따른 섬진강 하구역 동물플랑크톤의 분포 변화. *한국해양학회지* 「바다」, 7, 51-59.
- 박철, 최중기. 1997. 동해 전선역 동물플랑크톤 군집: 1. 종 목록, 우점종 분포, 중간 유연관계. *한국수산학회지*, 30, 225-238.
- 박철, 허성희. 1997. 시화호와 인근 해역의 동물플랑크톤 분포로 본 시화호의 생태적 안정성. *한국해양학회지* 「바다」, 2, 97-91.
- 서해립, 서호영, 차성식. 1991. 만경 동진강 하구계의 동물플랑크톤 분포와 염분. *한국해양학회지*, 26, 181-192.
- 서호영, 서해립. 1993. 광양만의 부유성 요각류 출현량의 계절변동. *한국환경생물학회지*, 11, 26-34.
- 서호영, 이인태, 윤양호, 최상덕, 이삼노, 한명일, 김병섭, 강윤호, 이우범. 2002. 가막만에 출현하는 동물플랑크톤의 종조성과 계절별 출현 양상. *한국환경생물학회지*, 20, 118-129.
- 서호영, 최상덕. 2004. 진해만에 출현하는 동물플랑크톤의 종조성과 계절별 출현양상. *한국환경생물학회지*, 22, 43-56.
- 심재형, 노일. 1982. 여수 근해산 동물플랑크톤의 종조성과 양적 분포. *서울대학교 자연과학연구 논문집*, 7, 165-183.
- 윤석현, 최중기. 2003. 경기만 동물플랑크톤의 시·공간적 분포. *한국해양학회지* 「바다」, 8, 243-250.
- 윤양호. 2000. 가막만 북서부해역 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포 특성. *여수대학교 수산과학연구소 논문집*, 9, 34-47.
- 이창래, 박철, 문창호. 2004. 울산-감포 해역의 냉수 출현과 동물플랑크톤 분포. *한국해양학회지* 「바다」, 9, 51-63.
- 이평강, 박철. 2004. 망목 크기가 동물플랑크톤 분포 자료 및 군집해석에 미치는 영향. *한국해양학회지* 「바다」, 9, 12-19.
- 장민철, 장풍국, 신경순, 박동원, 장만. 2004. 광양만 동물플랑크톤 군집의 계절 변화. *한국환경생물학회지*, 22, 11-29.
- 조현서, 유영석, 이규형. 1994. 가막만 수질 및 저질 환경의 계절별 특성. *여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고*, 3, 21-33.
- 한동훈, 홍성윤, 마채우. 1995. 득량만 동물플랑크톤 분포. *한국수산학회지*, 28, 517-532.
- Calbet, A., S. Garrido, E. Saiz, M. Alcaraz, and C.M. Duarte. 2001. Annual zooplankton succession in coastal NW Mediterranean waters: The importance of the smaller size fractions. *J. Plankton. Res.*, 23, 319-331.
- Clarke, K.R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Aust. J. Ecol.*, 18, 117-

- 143.
- Colebrook, J.M. 1964. Continuous plankton records: A principal component analysis of the geographical distribution of zooplankton. *Bull. Mar. Ecol.*, 6, 78-100.
- Conover, R.J. 1978. Transformation of organic matter. p. 221-499. In: *Marine Ecology. Vol. IV. Dynamics.* ed. by O. Kinne. John Wiley & Sons, New York.
- Cushing, D.H. 1975. *Marine Ecology and Fisheries.* Cambridge University Press. 278 p.
- Grice, G.D. and N.H. Marcus. 1981. Dormant eggs of marine copepods. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 19, 125-140.
- Haurly, L.R., H. Yamazaki, and D.L. Fey. 1992. Simultaneous measurements of small-scale physical dynamics and zooplankton distribution. *J. Plankton. Res.*, 14, 513-530.
- Hunter, M.D. and P.W. 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.
- Huntly, M. and C. Boyd. 1984. Food limited growth of marine zooplankton. *Am. Mat.*, 124, 455-478.
- Keister, J.E., E.D. Houde, and D.L. Breitburg. 2000. Effects of bottom-layer hypoxia on abundance and depth distributions of organisms in Patuxent River, Chesapeake Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 205, 43-59.
- Kim, S.W., T. Onbe, and K.I. Yoo. 1993. Distribution of the marine cladoceran *Evadne spinifera* in waters adjacent to Korean Peninsula. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 28, 47-51.
- Kimmerer, W.J. 1993. Distribution patterns of zooplankton in Tomales Bay, California. *Estuaries*, 16, 254-272.
- Kimmerer, W.J. and A.D. McKinnon. 1985. A comparative study of the zooplankton in two adjacent embayments, Port Philip and Westport Bays, Australia. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 21, 145-159.
- Kimmerer, W.J. and A.D. McKinnon. 1987. Growth, mortality, and secondary production of the copepod *Acartia tranteri* in Westport Bay, Australia. *Limnol. Oceanogr.*, 32, 14-28.
- Longhurst, A.R. and D.L.R. Seibert. 1972. Oceanic distribution of *Evadne* in the eastern Pacific (Cladocera). *Crustaceana*, 22, 239-248.
- NFRDI. 1998. Recent Red tides in Korean coastal waters. Busan, 292 p.
- Onbe, T. 1977. The biology of marine cladocerans in warm temperature water. p. 383-393. In: *Proc. Symposium on Warm Water Zooplankton.* Publicacao Especial, UNESCO/National Institute of Oceanography, Goa.
- Parsons, T.R., Y. Maita, and G.M. Lalli. 1984. *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis.* Pergamon Press. 173 p.
- Pielou, E.C. 1975. *Ecological Diversity.* John Wiley & Sons, New York.
- Poulet, S.A. and R. Williams. 1991. Characteristics and properties of copepods affecting the fourth international conference on copepoda. *Bull. Plankton Soc. Jpn. Spec.*, Vol. 271-290.
- Ramirez, F.C. and G.M. Perez Seijas. 1985. New data on the ecology distribution of cladocerans and first local observations on reproduction of *Evadne nordmanni* and *Podon intermedius* (Crustacea, Cladocera) in Argentine Sea waters. *Physis A*, 43, 131-143.
- Roemmich, D. and J. McGowan. 1995. Sampling zooplankton: correction. *Science*, 268, 353-353.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. *The mathematical theory of communication.* Univ. of Illinois Press, Urbana. 117 p.
- Stalder, L.C. and N.H. Marcus. 1997. Zooplankton responses to hypoxia: Behavioral patterns and survival of three species of calanoid copepods. *Mar. Biol.*, 127, 599-607.
- Ueda, H. 1982. Zooplankton investigations in Shijiki Bay II. Zooplankton communities from September 1975 to April 1976, with special reference to distributional characteristics of inlet copepods. *Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab.*, 58, 1-22.
- Ueda, H. 1986. Taxonomic reexamination and geographic distribution of copepods known as *Acartia clausi* in Japanese coastal and inlet waters. *J. Oceanogr. Soc. Jpn.*, 42, 134-138.
- UNESCO. 1968. *Zooplankton Sampling. Monographs on Oceanographic Methodology 2.* UNESCO, Paris. 174 p.
- Uye, S. 1981. Fecundity studies of neritic calanoid copepods *Acartia clausi* Giesbrecht and *A. steueri* Smimov: A simple empirical model of daily egg production. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 50, 255-271.

Received Sep. 6, 2005

Accepted May 2, 2006