

가막만의 수질환경과 이매패류(Bivalvia)군집의 연간변동

김윤설 · 윤호섭 · 박일웅 · 이우범¹ · 주승용² · 최상덕*

전남대학교 해양기술학부, ¹전남대학교 환경공학과, ²대한민국 국회

Annual Variation of Water Quality and Bivalvia Communities in Gamak Bay

Yun Seol Kim, Ho Seop Yoon, Il Woong Park, Woo Bum Lee¹,
Seung Yong Joo² and Sang Duk Choi*

Faculty of Marine Technology, College of Fisheries and Ocean Science,
Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Chonnam National University,
Yeosu 550-749, Korea

²The National Assembly of the Republic of Korea

Abstract – The seasonal distribution pattern of the Bivalvia samples collected from 12 stations in Gamak Bay in April, July, September and November from 2001 to 2006. A total of 28 species (226.72 ± 196.20 ind. m^{-2}) were identified. The COD has decreased from 3.30 mg L^{-1} to 1.89 mg L^{-1} level on average and especially, the COD of sediment has decreased from 21.51 mg g-dry $^{-1}$ to 16.99 mg g-dry $^{-1}$ level on average. Therefore, water quality level of Gamak Bay was improved from level 3 to 2. The dominant species over 1.0 percentages were composed of the total 13 species, and they occupied 96.75% of the total density of the Bivalvia. Major dominant species was *Musculista senhousia* 100.38 ind. m^{-2} (22.16%), *Moerella rutila* 69.00 ind. m^{-2} (15.23%), *Theora fragilis* 49.70 ind. m^{-2} (10.97%), *Mytilus edulis* 42.18 ind. m^{-2} (9.31%), and *Raphia undulata* 40.99 ind. m^{-2} (9.05%). This area could be divided into three groups by the cluster analysis based on the total species composition.

Key words : Gamak Bay, Bivalvia, water quality, *Musculista senhousia*

서 론

해양 생물 가운데 저서동물의 경우 부유생물이나 유영동물과는 달리 고착성이거나 행동반경이 좁기 때문에 환경의 변화에 민감하게 작용하여 시·공간적으로 군집

의 구조가 변화하며, 이러한 특성으로 인하여 저서동물의 분포특성을 통해 저서생태계의 변동 및 장기적인 해양환경 모니터링 연구에 유용하다 (Pearson and Rosenberg 1978; 임과 홍 1994; 임과 홍 1997a, b; Diaz *et al.* 2003; 백 등 2005).

가막만은 남해안 중앙 부분에 위치한 반 폐쇄적인 작은 내만으로 남쪽과 북동쪽에 위치하는 2개의 출구를 통하여 해수교환이 이루어져 만 내에는 크게 특성을 달

* Corresponding author: Sang Duk Choi, Tel. 061-659-3166, Fax. 061-659-3166, E-mail. choisd@jnu.ac.kr

리하는 3개의 수형이 존재하는 것으로 알려져 있으며 (이 1993), 육상으로부터 영양염 공급이 원활하여 기초 생산력이 높기 때문에 오래전부터 많은 종류의 어패류가 서식하여 해양생물의 증식·양식장으로 이용되어 왔다. 또한, 해양생태계가 비교적 양호하여 지속적으로 보전할 필요가 있는 환경보전 해역으로 지정되어 있다. 그러나 인구집중으로 인한 생활하수 및 폐수의 유입증가로 부영양화가 심화되고 적조현상과 빈 산소수괴의 발생이 빈발하고, 이로 인한 피해가 속출하는 악순환이 거듭되고 있는 실정이다. 가막만은 2004년 하수종말처리장의 완성과 2001~2005년 북서부 연안역에서의 오염 저니 준설 작업, 만 내에서의 어장정화작업 등으로 환경변화가 크게 일어나고 있어 수질, 저질 및 서식하는 생물들의 변화가 클 것으로 예상되고 있다(이 등 2006). 또한, 저서동물 군집은 매립 및 준설 등의 해양환경 변화의 일시적인 교란 후, 시간이 경과함에 따라 우점종의 천이가 나타나는 것으로 알려져 있으며 (Hily 1983), 생태계의 안정화는 군집구조의 조성에 따라 차이가 나타나고 있다고 알려져 있다(Groot 1979; Bonsdorff 1980; Dauvin 1987).

이와 같이 인위적인 환경변화가 나타나기 시작하여 가막만의 저서동물 및 환경에 대한 연구의 필요성이 증대되고 있다. 가막만에 대한 연구로는 저서다모류 군집(신 1995), 저서환경과 다모류군집 특성(윤 등 2007), 중형저서동물을 활용한 오염모니터링(김 등 2000), 오염부하 특성에 관한 연구(이와 조 2002), 적조생물(이 등 1999; Park and Yoon 2003; 노 등 2006) 화학적 산소요구량 거동 및 분포특성 평가를 위한 생태계 모니터링(김 2005), 환경용량 산정(강과 김 2006), 저질환경(팽 2003), 자연환경과 산업(이 등 2006) 등의 연구가 시행되었다.

그러나 대부분의 연구들이 단편적인 보고만 있을 뿐 장기변동에 관한 연구는 미약한 실정이다. 따라서 본 조사에서는 양식업 및 수산업에 있어서 중요한 부분을 차지하고 있는 가막만을 대상으로 수질환경 변화에 대한 이매패류의 군집구조 및 연간변동을 파악하고 물리적·화학적 환경이 이매패류 군집에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사정점

본 연구조사 지역인 가막만의 현장 조사는 2001년 4월부터 2006년 11월까지 매년 4회 조사에 걸쳐 12개 정점에서 실시하였다(Fig. 1).

2. 수질 및 저질 환경조사

가막만 정점별 수온, 염분, pH, DO는 YSI(556MPS)기를 사용하여 표층과 저층을 측정하였고, 현장에서 측정이 불가능한 COD는 시료를 현장에서 채수기를 이용하여 표층수를 채취하였으며, 채수된 시료는 1 L 용량의 polyethylene-통에 담아서 환경오염공정시험법(해양수산부, 2005)의 각 항에 규정된 방법의 시료 보관 방법에 따라 보관하고 실험실로 운반하여 냉장실에 4°C로 저장하면서 8시간 이내에 분석하였다.

COD는 알칼리성망간법에 따라 과망간산칼륨 일정량을 넣고 20분간 가열 반응시키고 요오드화칼륨 및 황산을 넣어 남아있는 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드의 양으로부터 산소의 양을 측정하였다.

저질 COD는 습시료 1.0 g을 취하여, 용량 250 mL의 삼각플라스틱에 시료를 넣고, 수산화나트륨 5 mL, 과망간산칼륨 용액 100 mL를 정확히 가한 후 1시간 끓는 수욕조에서 반응시킨 후 요오드화칼륨 10 mL와 4% 아지드나트륨용액 한 방울을 가한 후 삼각플라스틱 전체 액량이 500 mL가 되게 증류수를 첨가한다. 퇴적물과 용액을 잘 섞은 후 유리섬유여과지(CF/C)를 사용하여 여과하여 100 mL를 삼각플라스틱에 250 mL에 옮긴 후 30% 황산용액 2 mL를 넣고 혼든 후 0.1 N의 티오황산나트륨 용액으로 적정한다. 지시약으로는 녹말가루를 사용하였다.

감열감량(IL)은 시료 약 5g의 무게를 측정하여 건조기로 110°C로 건조한 도가니에 넣어 110°C에서 함량으로 될 때까지 건조하였다. 전기로에 시료를 넣고 550°C의 온도로 2시간 동안 가열한 후 전기로의 온도가 100°C

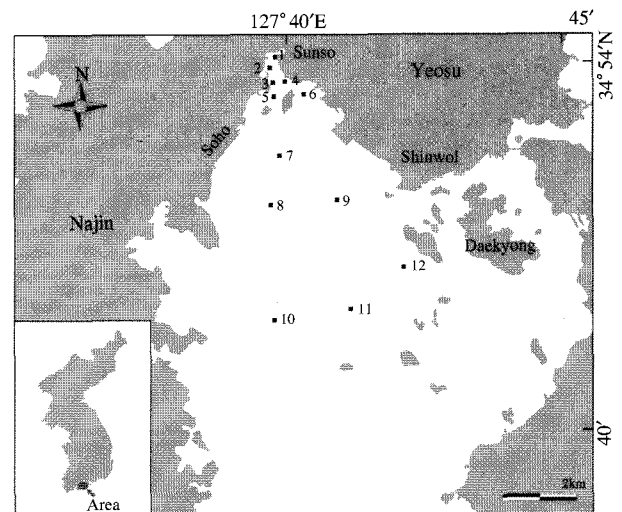


Fig. 1. A map showing the sampling sites in Gamak Bay from 2001 to 2006.

정도로 내려간 후에 전기로의 문을 열고 도가니를 데시케이터 안에서 실온으로 식힌 후 시료가 남긴 도가니의 무게를 측정하였다.

총질소(T-N)는 시료와 증류수를 혼합하여 50 mL로 하여 알카리성과황산칼륨용액 10 mL 넣은 후 고압증기 평균 120°C에서 30분간 가열한 후 유리섬유여지로 여과하여 처음 10 mL는 버리고 25 mL를 취하여 염산 5 mL 넣에 pH 2~3으로 한 후 220 nm에서 흡광도를 측정하였다.

총인(T-P)은 시료와 증류수를 50 mL로 하여 과황산칼륨(4%)을 10 mL 넣어 고압증기로 멸균한 후 시료 25 mL를 취해 몰리브덴산암모늄 아스크르빈산혼액 2 mL를 넣어 잘 섞은 후 약 15분간 방치하여 880 nm에서 흡광도를 측정하였다. 측정 항목들은 2001년부터 2006년까지 표층과 저층의 평균과 표준편차를 이용하여 나타내었으며, 측정 항목들의 연간, 계절간의 차이를 파악하기 위해 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, 항목들의 유의한 차이는 Tukey의 사후분석(Post Hoc multiple comparison test)을 수행하여 조사시기와 조사장점에 따른 차이를 검증하였다. 통계분석은 SPSS (Ver 14.0 SPSS Inc.)를 이용하였다.

3. 이매패류 군집분석

저서동물은 van Veen grab (0.1 m²)을 사용하여 3회씩 퇴적물을 반복 채집하였다. 이매패류를 포함한 퇴적물은 채집 현장에서 망목 1.0 mm인 체 (sieve)를 사용하여 거른 다음 잔존물을 해수로 희석한 10% 중성포르말린 용액을 이용하여 고정하였다. 고정된 시료는 실험실로 운반하여 우선 잔존물로부터 생물체를 분리하여 분류군에 따라 선별은 종 수준까지 동정·계수 하였다. 대형저서동물의 군집 특성을 알아보기 위하여 종 다양도 지수(H'), 종 풍부도 지수(R), Pielou의 균등도 지수(J)를 분석하였다. 또한, 정점별 종조성과 그에 따른 시기별 유사도 측정을 위해 시기별 총 출현 개체수 자료를 이용하여 Bray-Curtis의 유사도 지수(Bray and Curtis, 1957)를 구하여 가중 평균 결합법으로 정점간의 수지도(dendrogram)로 작성하였으며, 출현 종 별 개체수 자료를 이용하여 MDS (non-metric multidimensional scaling)배열법으로 군집분석을 하였다(Clarke 1993). 각 시기별 구분에 영향을 미치는 이매패류를 파악하기 위해 SIMPER (similarity-percentages procedure)분석을 실시하였다(Clarke and Warwick 2001). 또한, 이매패류 군집의 구성요소에 영향을 주는 환경요인과의 관계를 알아보기 위해 상관분석(Pearson correlation)을 실시하였으며, 자료처리에는

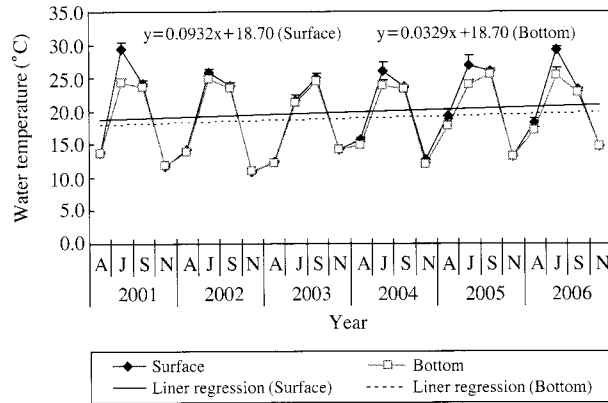


Fig. 2. Annual variation of water temperature in the surface and bottom layer of Gamak Bay from 2001 to 2006 (A, April; J, July; S, September; N, November).

Primer 5.0 software (Clarke and Gorley 2001)와 SPSS (Ver 14.0 SPSS Inc.)를 이용하였다.

종 다양성 지수 :

$$H' = -\sum Pi \times \ln(Pi) \text{ (Shannon and Weaver 1963)}$$

Pi : i번째 종의 점유율

종 풍부도 지수 : $R = (S - 1) / \ln(N)$ (Margalef 1958)

S : 출현 종수

N : 총 출현 개체수

종 균등도 지수 : $J = H' / \ln(S)$ (Pielou 1966)

결 과

1. 수온 (water temperature)

연구기간 동안 조사된 가막만 내 연간 수질 변동 양상을 살펴보면 Fig. 2와 같다. 선소해역의 표층 수온의 경우 연간 변동이 회귀 직선식($y=0.0932x+18.70$)에 의해 2006년으로 갈수록 표층 수온이 증가하는 경향을 보였으며, 계절별 표층 수온의 공간분포는 2001년 7월에 $29.40 \pm 1.01^\circ\text{C}$ 로 가장 높게 나타났으며, 2002년 11월에 가장 낮은 $10.84 \pm 0.14^\circ\text{C}$ 로 나타나 계절적 차이가 뚜렷하게 나타났다. 저층 수온은 연간변동 회귀 직선식($y=0.0329x+18.70$)에 의하면 2006년으로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. 계절별 저층 수온의 공간 분포양상은 2005년 9월에 $25.57 \pm 0.52^\circ\text{C}$ 로 가장 높게 나타났으며, 2002년 11월에 가장 낮은 $10.97 \pm 0.16^\circ\text{C}$ 로 나타났다.

2. 염분 (salinity)

염분의 경우, 표층 염분은 연간회귀 직선식($y=0.0116x$

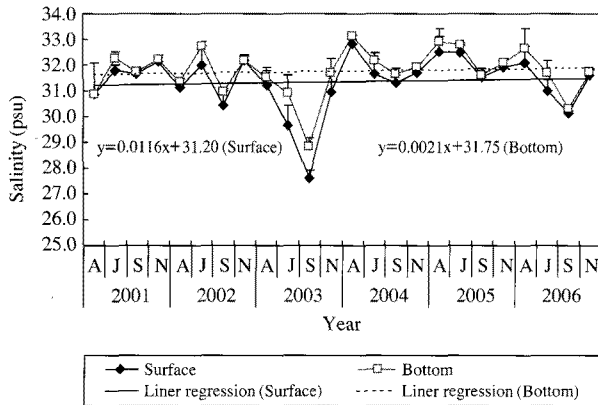


Fig. 3. Annual variation of salinity in the surface and bottom layer of Gamak Bay from 2001 to 2006 (A, April; J, July; S, September; N, November).

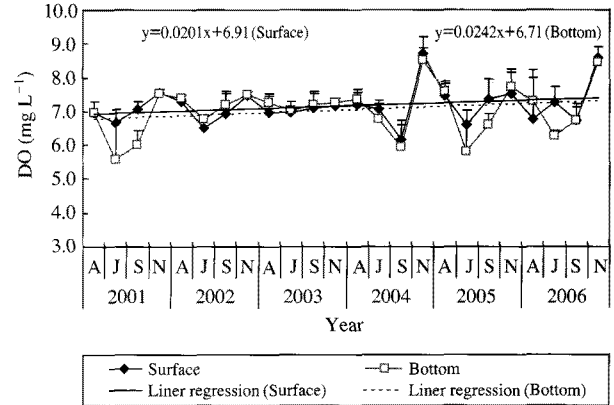


Fig. 5. Annual variation of dissolved oxygen in the surface and bottom layer of Gamak Bay from 2001 to 2006 (A, April; J, July; S, September; N, November).

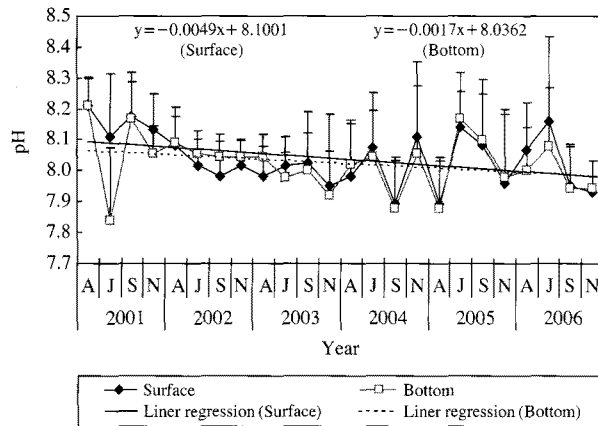


Fig. 4. Annual variation of pH in the surface and bottom layer of Gamak Bay from 2001 to 2006 (A, April; J, July; S, September; N, November).

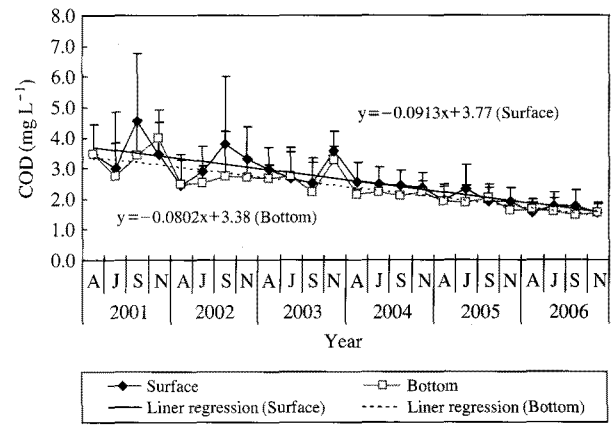


Fig. 6. Annual variation of chemical oxygen demand in the surface and bottom layer of Gamak Bay from 2001 to 2006 (A, April; J, July; S, September; N, November).

+31.20)에 의해 큰 변화가 보이지 않았으며, 계절별 표층염분의 분포양상은 2003년 9월에 27.62 ± 0.30 psu로 가장 낮게 측정되었으나 이를 제외하고 유의적 차이를 나타내지 않았다. 저층은 연간회귀 직선식 ($y=0.0021x+31.75$)에 의해 연간 변화양상이 비슷하게 나타났지만, 2003년 9월 (28.82 ± 0.34)에는 상대적으로 가장 낮은 값을 나타내었다 (Fig. 3).

3. 수소이온농도 (pH)

수소이온농도의 경우 표층은 연간변동이 회귀 직선식 ($y=-0.0049x+8.10$)에 의하면 2006년으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 계절별 수소이온농도 범위는 2001년 4월에 8.21 ± 0.09 로 가장 높게 나타났으며, 2004년 9

월과 2005년 4월에 7.89 ± 0.15 로 가장 낮게 나타났다. 저층은 연간 변동이 회귀 직선식 ($y=-0.0017x+8.03$)에 의하면 2004년으로 갈수록 감소하는 경향을 보였으며, 2001년 4월에 8.21 ± 0.08 로 가장 높게 나타났으며, 2001년 7월에 7.83 ± 0.23 으로 가장 낮은 값을 나타내었다 (Fig. 4).

4. 용존산소 (dissolved oxygen)

가막만의 용존산소의 경우 표층은 연간 변동이 회귀 직선식 ($y=0.0201x+6.91$)에 의해 2006년으로 갈수록 증가하는 경향을 보였으며, 계절별 용존산소 분포양상은 2004년 11월에 8.71 ± 0.49 mg L⁻¹로 가장 높게 나타났으며, 2004년 9월에 6.18 ± 0.55 mg L⁻¹로 가장 낮은 값을 나타내었다. 저층은 연간 변동이 회귀 직선식 ($y=$

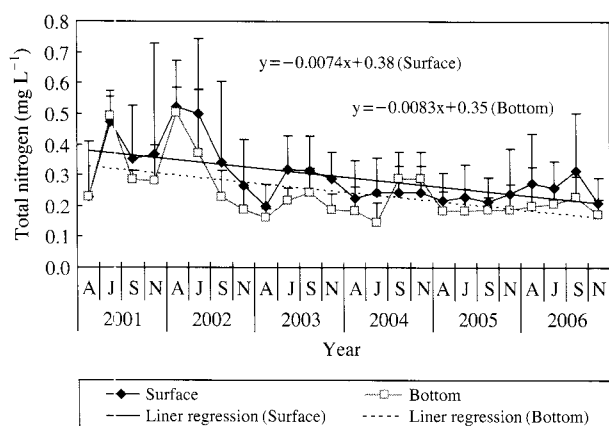


Fig. 7. Annual variation of total nitrogen in the surface and bottom layer of Gamak Bay from 2001 to 2006 (A, April; J, July; S, September; N, November).

0.0242x+6.71)에 의해 표층과 같이 2006년으로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. 2004년 11월에 8.52±0.36 mg L⁻¹으로 가장 높게 나타났으며, 2001년 7월에 5.56±1.13 mg L⁻¹으로 가장 낮은 값을 나타내었다(Fig. 5).

5. 화학적 산소요구량 (chemical oxygen demand)

가막만의 화학적 산소요구량의 경우 표층은 연간변동이 회귀 직선식 (y = -0.0913x + 3.77)에 의하면 2006년으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 표층의 계절적 화학적 산소요구량은 2001년 9월에 4.53±2.21 mg L⁻¹으로 가장 높게 나타났으며, 2006년 11월에 1.53±0.32 mg L⁻¹로 가장 낮은 값을 나타내었다. 저층은 회귀 직선식 (y = -0.0802x + 3.38)에 의해 표층과 같이 2006년으로 갈수록 감소하는 경향을 보였으며, 계절적으로는 2001년 11월에 3.97±0.94 mg L⁻¹로 가장 높게 나타났으며, 2004년 9월에 1.45±0.31 mg L⁻¹로 가장 낮은 값을 나타내었다(Fig. 6).

6. 총 질소 (total nitrogen)

가막만의 총 질소의 경우 표층은 연간변동이 회귀 직선식 (y = -0.0074x + 0.38)에 의해 2006년으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 표층의 계절별 분포양상은 2002년 4월에 0.52±0.15 mg L⁻¹로 가장 높은 값을 보였으며, 2003년 4월에 0.19±0.07 mg L⁻¹로 가장 낮은 값을 보였다. 저층은 회귀 직선식 (y = -0.0083x + 0.35)에 의해 표층과 같이 2001년에서 2006년으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 저층의 계절적 분포양상은 2002년 4월에 0.50±0.08 mg L⁻¹로 가장 높은 값을 보였으며, 2004년 7

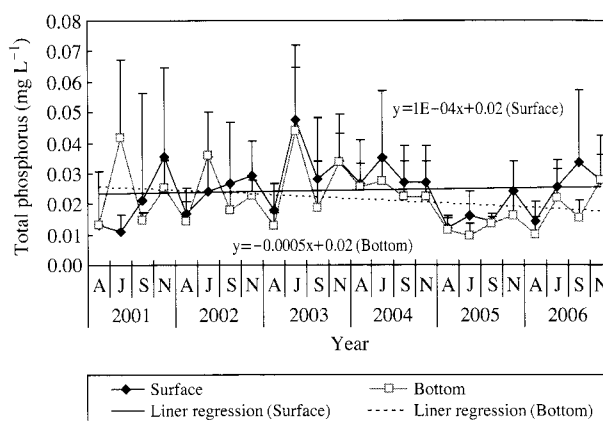


Fig. 8. Annual variation of total phosphorus in the surface and bottom layer of Gamak Bay from 2001 to 2006 (A, April; J, July; S, September; N, November).

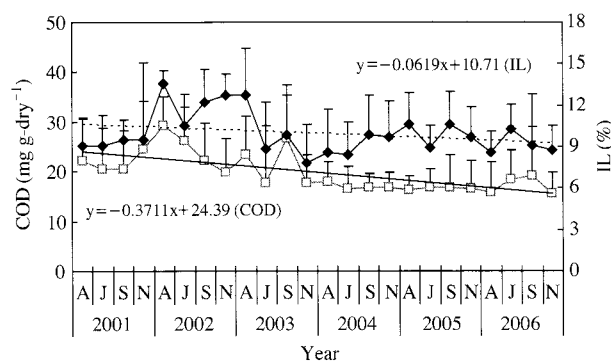


Fig. 9. Annual variation of chemical oxygen demand and ignition loss in the bottom material of Gamak Bay from 2001 to 2006 (A, April; J, July; S, September; N, November).

월에 0.14±0.06 mg L⁻¹로 가장 낮은 값을 보였다(Fig. 7).

7. 총 인 (total phosphorus)

가막만의 총 인의 경우 표층은 연간변동이 회귀 직선식 (y = 1E-04x + 0.02)에 의해 2001년에서 2006년으로 갈수록 큰 변화를 보이지 않았지만 조금씩 증가하는 경향을 보였다. 계절적으로는 2003년 7월에 0.04±0.02 mg L⁻¹로 가장 높은 값을 보였으며, 2001년 7월에 0.01±0.005 mg L⁻¹로 가장 낮은 값을 보였다. 저층의 경우는 연간변동이 회귀 직선식 (y = -0.0005x + 0.02)에 의해 2006년으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 계절별 분포양상은 2003년 7월에 0.04±0.02 mg L⁻¹로 가장 높은 값을 보였으며, 2005년 7월에 0.009±0.003 mg L⁻¹로 가장 낮은 값을 나타내었다(Fig. 8).

Table 1. The species composition and ecological characteristics of bivalvia collected in Gamak Bay from April 2001 to November 2006

Species	Year	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<i>Moerella iridescens</i>				*	*		*
<i>Clinocardium buellowi</i>							*
<i>Arca boucardi</i>							*
<i>Paphia undulata</i>		*	*		*	*	*
<i>Nuculana pernula sadoensis</i>							*
<i>Moerella rutila</i>					*	*	*
<i>Ruditapes philippinarum</i>		*	*	*	*	*	*
<i>Abrina kinoshitai</i>							*
<i>Didimacar tenebrica</i>							*
<i>Protothaca jedoensis</i>				*	*	*	*
<i>Scapharca subcrenata</i>		*	*			*	*
<i>Fulvia mutica</i>		*	*	*	*	*	*
<i>Raetella pulchella</i>					*	*	*
<i>Theora fragilis</i>			*		*	*	*
<i>Cellana toreuma</i>							*
<i>Ennucula niponica</i>							*
<i>Musculista senhousia</i>		*	*	*	*	*	*
<i>Cardita leana</i>							*
<i>Mytilus edulis</i>		*	*	*	*		*
<i>Nitidotellina minuta</i>						*	*
<i>Scapharca broughtonii</i>				*	*	*	*
<i>Cyclina sinensis</i>		*				*	
<i>Ostrea denselamellosa</i>		*	*				
<i>Crassostrea gigas</i>		*		*	*	*	
<i>Cadella lubrica</i>				*			
<i>Arca avellana</i>					*	*	
<i>Trapezium liratum</i>						*	
Other			*	*			*
Bivalvia							
Total species number			28				
Mean species number			2.46 ± 1.82 (Each station)				
			8.29 ± 3.18 (Each season)				
Mean density(ind. m ⁻²)			226.72 ± 196.20				
Ecological Indices							
Diversity (H')			0.62 ± 0.27				
Richness (R)			0.84 ± 0.30				
Evenness (J)			0.79 ± 0.19				

8. 저질 화학적 산소요구량(저질 COD) 및 강열감량(IL)

저질 화학적 산소요구량은 연간변동이 회귀 직선식($y = -0.3711x + 24.39$)에 의해 2006년으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 저질 화학적 산소요구량은 수질 화학적 산소요구량과 비교할 때 비슷한 경향을 보였다. 2002년 7월에 $26.24 \pm 6.66 \text{ mg g-dry}^{-1}$ 로 가장 높은 값을 나타냈으며, 2006년 11월에 $15.54 \pm 4.37 \text{ mg g-dry}^{-1}$ 로 가장 낮은 값을 나타내었다. 강열감량은 연간변동이 회귀 직선식($y = -0.0619x + 10.71$)에 의해 2001년에서 2006년으로 갈수록 조금씩 감소하는 경향을 보였다. 계절별 분포양상은 2002년 4월에 $13.55 \pm 0.99\%$ 로 가장 높은 값을 나타냈으며, 2003년 11월에 $7.83 \pm 2.79\%$ 로 가장 낮

은 값을 나타내었다(Fig. 9).

9. 이매패류의 출현종수 및 서식밀도

가막만의 조사기간 동안 출현한 이매패류의 총 출현종수는 Table 1과 같다. 조사기간 중 총 28종이 출현하였으며, 이매패류의 총 출현종수는 시간에 따라 점점 증가하는 경향을 보였다. 각 정점당 평균 출현종수는 2.46 ± 1.82 종, 계절별 평균출현종수는 8.29 ± 3.18 종이 출현하였다. 평균 서식밀도는 $226.72 \pm 196.20 \text{ ind. m}^{-2}$ 의 변동범위를 보였다.

10. 생태지수

가막만의 이매패류군집의 생태지수를 시기별로 살펴

Table 2. Dominant species above 1.0 percentage among total individual number collected in Gamak Bay from April 2001 to November 2006

Dominant species	Mean density (ind. m ⁻²)	%
<i>Musculista senhousia</i>	100.38 ± 132.75	22.16
<i>Moerella rutila</i>	69.00 ± 71.13	15.23
<i>Theora fragilis</i>	49.70 ± 31.11	10.97
<i>Mytilus edulis</i>	42.18 ± 31.98	9.31
<i>Raphia undulata</i>	40.99 ± 32.29	9.05
<i>Ruditapes philippinarum</i>	29.56 ± 23.17	6.52
<i>Cadella lubrica</i>	24.11 ± 22.40	5.32
<i>Moerella iridescens</i>	22.33 ± 22.97	4.93
Other	20.00 ± 16.40	4.41
<i>Crassostrea gigas</i>	15.44 ± 21.26	3.41
<i>Scapharca broughtonii</i>	9.21 ± 5.88	2.03
<i>Fulvia mutica</i>	8.52 ± 6.82	1.88
<i>Scapharca subcrenata</i>	6.93 ± 6.64	1.53

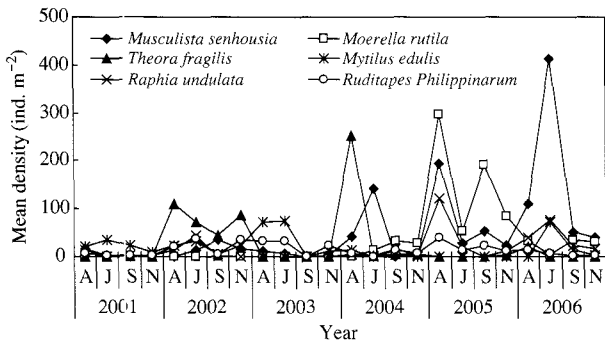


Fig. 10. Annual variation of mean density (ind. m⁻²) of the dominant species in Gamak Bay from April 2001 to November 2006.

보면, 종다양성 지수의 경우 6년간 평균 0.62 ± 0.27 의 값을 보였으며, 균등도 지수는 0.79 ± 0.19 , 풍부도 지수는 0.84 ± 0.30 으로 나타났다 (Table 1).

11. 우점종

가막만에서 채집된 이매패류의 평균 서식밀도에 있어서 1% 이상 우점한 이매패류는 총 13종으로 전체 이매패류의 96.75%를 차지하였다 (Table 2). 이중 가장 우점한 종은 종밧으로 평균 서식밀도는 $100.38 \text{ ind. m}^{-2}$ (20.70%) 이었으며, 민디접시조개가 $69.00 \text{ ind. m}^{-2}$ (15.23%), 아기반투명조개가 $49.70 \text{ ind. m}^{-2}$ (10.97%), 진주담치가 $42.18 \text{ ind. m}^{-2}$ (9.31%), 농조개가 $40.99 \text{ ind. m}^{-2}$ (9.05%), 바지락이 $29.56 \text{ ind. m}^{-2}$ (6.52%), 매끈이접시조개가 $24.11 \text{ ind. m}^{-2}$ (5.32%), 갈색접시조개가 $22.33 \text{ ind. m}^{-2}$ (4.93%), 기타가 $20.00 \text{ ind. m}^{-2}$ (4.41%), 참굴, 피조개, 새조개, 새꼬막 등이 각각 $15.44 \text{ ind. m}^{-2}$ (3.41%), 9.21 ind. m^{-2} (2.03%), 8.52 ind. m^{-2} (1.88%), 6.93 ind. m^{-2} (1.53%)로 우점 출현

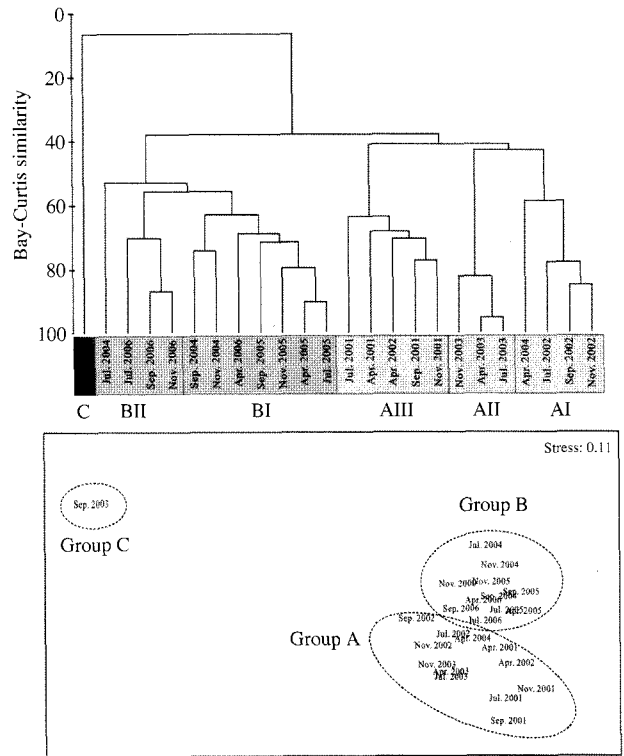


Fig. 11. Dendrogram of Bray-Curtis similarity and multidimensional scaling ordinations (MDS) plot of the base on the total species composition.

하였다 (Fig. 10).

전 조사기간 채집된 이매패류의 우점종 중 상위 6종의 평균 서식밀도 변동을 살펴보면 최우점종인 종밧은 전 조사기간 동안 $0 \sim 414.70 \text{ ind. m}^{-2}$ 의 변동범위를 보이며, 2001~2003년까지는 100 ind. m^{-2} 이하의 낮은 비율로 출현하다가 2004년부터 높은 서식밀도를 보이며 2006년 7월에 가장 높은 서식밀도를 보였다. 민디접시조개는 전 조사기간 동안 $0 \sim 296.00 \text{ ind. m}^{-2}$ 의 변동범위를 보였으며, 2001~2003년까지는 출현하지 않았으나 2004년부터 서식밀도가 증가하기 시작하여 2005년 4월에 가장 높은 서식밀도를 보였으며, 이후 봄과 가을에 증가하는 계절적 변동을 나타내었다. 아기반투명조개는 전 조사기간 동안 $0 \sim 252.00 \text{ ind. m}^{-2}$ 의 변동범위를 보였으며, 다른 년도에 비해 2002년과 2004년에 높은 서식밀도를 보였으며 특히, 2004년 4월에 $252.00 \text{ ind. m}^{-2}$ 로 높은 서식밀도를 보였다. 또한, 전체적으로 서식밀도를 볼 때 2001년에서 2006년으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 민디접시조개는 $0 \sim 296.00 \text{ ind. m}^{-2}$ 의 변동범위를 보였으며, 농조개는 다른 종들에 비해 전 조사기간 동안 150 ind. m^{-2} 이하의 낮은 서식밀도를 보였지만 2004년부터 서식밀도가 증가하기 시작하여 2005년 4월

에 가장 높은 서식밀도를 보였으며, 4월, 7월에 증가하고 다시 9월, 11월에 감소하는 계절적 변동을 보였다. 진주담치는 0~77.30 ind. m⁻²의 변동범위를 보였으며, 2003년 4월, 7월, 2006년 7월을 제외한 전 조사기간 동안 50 ind. m⁻² 이하의 낮은 서식밀도를 보였다. 바지락의 서식밀도 변동범위는 0~39.99 ind. m⁻² 사이로, 2001년에는 다른 년도에 비해 현저하게 낮은 서식밀도를 보였으며, 2002~2003년에는 4월과 7월에 증가하는 경향을 보였다. 하지만 2005년 4월에 가장 높은 서식밀도를 보이고 2006년으로 갈수록 서식밀도가 감소하는 경향을 보여 전체적으로 출현밀도가 감소하는 경향을 보였다(Fig. 10).

Table 3. Discriminating species determined using the SIMPER (% contribution to similarity) analysis

Species	% Contribution to similarity between groups divided by cluster analysis					
	A I	A II	A III	B I	B II	C
<i>Cadella lubrica</i>	-	23.43	-	-	-	-
<i>Crassostrea gigas</i>	-	-	24.85	-	-	-
<i>Fulvia mutica</i>	-	-	12.71	-	-	-
<i>Moerella rutila</i>	-	-	-	32.28	17.11	-
<i>Moerella iridescens</i>	-	17.46	-	-	8.86	-
<i>Mytilus edulis</i>	16.78	16.90	28.72	-	6.77	-
<i>Musculista senhousia</i>	19.75	7.76	-	16.08	41.63	-
Other	12.73	-	-	-	-	-
<i>Ruditapes philippinarum</i>	14.97	15.58	13.90	19.07	-	-
<i>Raphia undulata</i>	-	-	-	13.69	16.63	-
<i>Scapharca subcrenata</i>	-	-	9.58	-	-	-
<i>Scapharca broughtonii</i>	-	10.84	-	8.51	-	-
<i>Theora fragilis</i>	33.19	-	8.78	3.59	-	-

12. 가막만의 군집구조 변화

가막만에서 6년 동안(2001년 4월~2006년 11월)계절별로 채집한 이매패류군집의 종조성에서 전체서식밀도의 1% 이상을 차지하는 종들에 기초를 두어 집괴분석 결과는 Fig. 11에 나타난 바와 같다. 가막만은 시기별로 크게 총 3개의 그룹(Group A, B, C)으로 구분되어진다. 이 군집을 세분화하면 Group A는 3개의 군집으로 A I는 2002년 7~11월과 2004년 4월로 구성되어져 있으며, A II는 2003년 4월, 7월, 11월, A III는 2001년 4~11월과 2002년 4월로 세분화 되었다. Group B는 2개의 군집으로 2004년 9월, 11월과 2005년 4~11월, 2006년 4월로 구성된 B I과 2004년 7월과 2006년 7~11월로 구성된 B II로 세분화되었다. Group C는 1개의 군집으로 2003년 9월로 나타났다. 각각의 군집에서 우점 종을 살펴보면, A I군집은 아기반투명조개(455.46 ind. m⁻²), 기타(116.00 ind. m⁻²), 종밧(108.46 ind. m⁻²), A II군집은 매끈이접시조개(289.33 ind. m⁻²), 갈색접시조개(130.67 ind. m⁻²), 진주담치(117.33 ind. m⁻²), A III군집은 진주담치(112.34 ind. m⁻²), 아기반투명조개(108.93 ind. m⁻²), 참굴(72.00 ind. m⁻²) 순으로 우점 하였으며, B I군집은 민띠접시조개(718.64 ind. m⁻²), 종밧(409.31 ind. m⁻²), 농조개(209.32 ind. m⁻²) 순으로 우점 출현하였다. B II군집은 종밧(646.76 ind. m⁻²), 농조개(117.23 ind. m⁻²), 갈색접시조개(101.33 ind. m⁻²) 순으로 우점출현 하였다. 마지막 C군집은 한시기로 최우점종은 미 분류종인 기타가 1.33 ind.

Table 4. The environmental condition of each group in the Gamak Bay in the whole study periods

	Group A			Group B		Group C
	A I	A II	A III	B I	B II	C
Major Environmental Factors						
DO (mg L ⁻¹)	7.11	7.11	6.90	7.15	7.23	7.15
COD (mg L ⁻¹)	2.83	2.98	3.30	2.00	1.79	2.35
COD (mg g-dry ⁻¹)	21.53	19.57	23.42	16.54	17.45	26.68
IL (%)	11.04	9.81	10.14	9.71	9.11	9.86
Bivalves Community						
Total species number	13	10	12	24	18	1
Mean density (ind. m ⁻²)	248.90	254.65	131.13	271.61	280.88	1.33
Total density (ind. m ⁻²)	995.59	763.95	655.67	1,901.25	1,123.50	1.33
Ecological Indices						
Diversity (H')	0.75	0.92	0.57	0.63	0.48	0.00
Richness (R)	0.73	1.08	0.89	0.97	0.72	0.00
Evenness (J)	0.85	0.80	0.87	0.78	0.84	0.00
Dominant Species (ind. m ⁻²)						
<i>Musculista senhousia</i>	108.45	21.32	18.67	409.32	646.77	0.00
<i>Moerella rutila</i>	0.00	0.00	0.00	718.64	83.97	0.00
<i>Theora fragilis</i>	455.45	0.00	108.94	30.66	1.33	0.00
<i>Mytilus edulis</i>	76.58	117.33	112.35	5.33	88.00	0.00
<i>Raphia undulata</i>	49.33	0.00	30.68	209.33	117.23	0.00
<i>Ruditapes philippinarum</i>	85.78	88.01	31.85	122.67	13.30	0.00

Table 5. Pearson's correlation coefficient between biological parameters and environmental factors in Gamak Bay from 2001 to 2006 (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, -: not significant)

	COD(i)	COD(ii)	IL	SN	MD	H'	R	J	M.s	M.r	T.f	M.e	R.u	R.p
COD(i)														
COD(ii)	0.45*													
IL	-	0.55**												
SN	-0.52**	-0.50*	-											
MD	-	-	-	0.48*										
H'	-	-	-	0.47*	0.46*									
R	-	-	-	-	-	0.55**								
J	-	-	-	-	-	-	0.62**							
M.s	-0.45*	-	-	0.46*	0.74**	-	-	-						
M.r	-0.42*	-0.41*	-	-	0.57**	-	-	-						
T.f	-	-	-	-	-	-	-	-						
M.e	-	-	-	-	-	0.54**	-	-						
R.u	-0.43*	-	-	0.48*	0.78**	-	-	-	0.71**	0.60**				
R.p	-	-	0.43*	-	0.51*	0.64**	-	-	-	-				

*COD(i): Chemical Oxygen Demend (mg L^{-1}), COD(ii): Chemical Oxygen Demend (mg g-dry^{-1}), IL: Ignition Loss, TN: Total Species Number, MD: Mean Density, H': Diversity, R: Richness, J: Evenness, M.s: *Musculista senhousia*, M.r: *Moerella rutula*, T.f: *Theora fragilis*, M.e: *Mytilus edulis*, R.u: *Raphia undulata*, R.p: *Ruditapes philippinarum*.

m^{-2} 으로 우점 출현하였다.

집괴분석을 기초로 하여 얻어진 군집의 기여종을 알아 보기 위한 SIMPER 분석결과 Table 3과 같다. A I군집의 유사성에 기여하는 종들은 아기반투명조개 (33.19%), 종뿔 (9.75%), 진주담치 (16.78%), 바지락 (14.97%), 기타 (12.73%) 등의 순이었으며, A II군집은 매끈이접시조개 (23.43%), 갈색접시조개 (17.46%), 진주담치 (16.90%), 바지락 (15.58%), 피조개 (10.84%), A III군집은 진주담치 (28.72%), 참굴 (24.85%), 바지락 (13.90%), 새조개 (12.71%) 등의 순위로 기여하였다. B I군집의 유사성에 기여한 종들은 민뽕접시조개 (32.28%), 바지락 (19.07%), 종뿔 (16.08%), 농조개 (13.69%) 등의 순이었으며, B II군집의 유사성에 기여한 종들은 종뿔 (41.63%), 민뽕접시조개 (17.11%), 농조개 (16.63%) 순위로 기여하였다. 또한, C군집 같은 경우는 태풍 매미 직후 현장조사를 실시한 결과 출현종수 및 밀도가 다른 군집에 비해 현저하게 낮으므로 기여하는 종을 알 수 없었다.

2001~2006년까지 가막만의 군집 특성을 보면 Group A의 경우, 군집 A I 주요 우점종의 서식밀도는 아기반투명조개 ($455.45 \text{ ind. m}^{-2}$), 종뿔 ($108.45 \text{ ind. m}^{-2}$)로 나타났으며, 다양도 지수, 균등도 지수, 풍부도 지수 모두 1.0이하로 낮게 나타났다. 또한 환경요소 중 저질 COD ($21.53 \text{ mg g-dry}^{-1}$)는 퇴적물중 오염니 기준치 (COD: 20 mg g-dry^{-1})보다 높게 나타났으며, 수질 COD는 2.83 mg L^{-1} , 강열감량은 11.04%로 III등급 수질을 나타내어 가막만이 아직 오염된 상태임을 나타내었다. A II군집은 진주담치가 $117.33 \text{ ind. m}^{-2}$ 으로 우점하였으나, A I군집보다 저질 COD, 강열감량이 낮게 나와 수질 III등급을 나타

내었다. A III은 아기반투명조개와 진주담치가 주우점종으로 나타났으며, 평균서식밀도에서 A I와 A II군집보다 낮게 나타났으며, 수질 및 저질환경 또한 낮게 나타났다.

Group B의 경우는 가막만 준설 및 어장정화 사업 이후로, B I군집에서 환경요소 모두 다른 군집에 비해 좋아지는 경향을 보였으며, 출현종수 (24종) 및 총 서식밀도 ($1,901.25 \text{ ind. m}^{-2}$)는 다른 군집에 비해 높은 값을 나타내었다. 민뽕접시조개 ($718.64 \text{ ind. m}^{-2}$)가 상대적으로 높게 나타나는 특징을 보였다. 하지만 준설 및 어장정화 이후 수질 (2.00 mg L^{-1}) 및 저질 COD ($16.54 \text{ mg g-dry}^{-1}$) 모두 오염니 기준치보다 낮게 나타나 수질 및 저서환경이 갈수록 안정화 되어 유용패류인 바지락 ($122.67 \text{ ind. m}^{-2}$)의 출현 비율이 높게 나타났다. B II군집은 종뿔 ($646.77 \text{ ind. m}^{-2}$), 농조개 ($117.23 \text{ ind. m}^{-2}$)가 높게 나타났으며, 수질 및 저질 COD는 B II군집과 비슷한 수치를 나타내었다.

13. 환경요인과의 상관관계

가막만에 서식하는 이매패류 군집에 영향을 주는 환경요인과 이들 사이의 상호관계를 파악하기 위하여 이매패류 군집의 생태학적 지수, 출현종수, 평균밀도, 우점종 및 서식에 영향을 주는 화학적 산소요구량, 강열감량 등을 분석한 결과는 Table 5와 같다.

Pearson's의 상관관계로부터 얻어진 결과를 살펴보면, 저서환경에서 화학적 산소요구량은 저질 화학적 산소요구량에 양의 상관관계 ($r=0.45, p < 0.05$)를 보였으며, 종뿔 ($r=-0.45, p < 0.05$)과 민뽕접시조개 ($r=-0.42, p <$

0.05), 농조개 ($r = -0.43, p < 0.05$)에 약한 음의 상관관계를 나타내었다. 화학적 산소요구량(저질) 또한 민뚝잡시조개 ($r = -0.41, p < 0.05$)에 약한 음의 상관관계를 나타내었다. 강열감량에 대해 양의 상관관계를 나타내었다. 생태학적 특성 중 출현종수는 평균밀도, 다양도 지수에 대해 양의 상관관계를 보였으며, 평균서식밀도는 종 및 ($r = 0.74, p < 0.01$), 농조개 ($r = 0.78, p < 0.01$)와 높은 상관관계를 보였다. 우점종에 대한 상관관계를 살펴보면 농조개는 종 및 ($r = 0.71, p < 0.01$)과 민뚝잡시조개 ($r = 0.60, p < 0.01$)에 양의 상관관계를 나타내었다.

고 찰

1. 수질 및 저질 환경 연간변동

준설은 대상해역의 대상물질이 더 이상 복구가 힘든 대상물을 제거하는데 이용되어 진다. 가막만의 경우 지속적인 생활하수 유입과 해수순환의 정체로 표층퇴적물의 극심한 오염으로 인하여 부패한 퇴적물을 제거하기 위하여 2000년부터 2005년까지 준설작업이 이루어졌다. 이에 대하여 가막만 수질환경을 연구한 결과, 가막만의 수온 및 염분 연간변동은 2006년으로 갈수록 증가하는 경향을 보였으며, 수온 같은 경우는 큰 변화를 보이지 않았지만 염분의 경우는 계절적 차이가 뚜렷하게 나타났다. 가막만의 염분농도는 2003년 7~9월에 현저히 낮은 값을 보였는데 이는 이 시기에 우리나라를 강타한 태풍 매미의 영향으로 여수지역의 평년강수량보다 768.8 mm 많은 2,176.4 mm 양을 보여 염분 저하에 영향을 준 것으로 판단되어지며, 2004년부터 일정한 범위를 나타내었다. 수소이온농도는 연간변동이 감소하는 경향을 보였지만, 해역수질 등급 8.3 이하로 수질등급 I등급에 해당하는 범위를 보였다. 용존산소의 경우 연간변동이 증가하는 경향을 보였다. 또한 계절별로 차이를 보이며 수온과 강한 음성관계를 가지며 여름철에서 겨울철로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. 또한, 해양에서 일어나는 용존산소의 변동특성으로 겨울철에는 낮은 수온과 바람에 의해 용존산소농도가 증가하고 여름철에는 다른 계절에 비해 유기물 소모량이 증가하고 미생물들의 활발한 분해활동 등으로 인해 용존산소가 감소하는 때문이라 사료 된다(양 등 1995; 윤 2000; 장과 최 2002). 그로 인해 퇴적층에 유기물 함량이 높은 경우 생물에 의한 소비가 촉진되지 않기 때문에 분해되면서, 저층 빈 산소 수괴 형성을 촉진되어 지기도 한다(Wright and Philips 1988; Yang and Hong 1988; Degobbi 1989).

일반 해역 오염 지표인 화학적 산소요구량(COD)의 연간변동은 2006년으로 갈수록 감소하는 경향을 보였으며, 2003년까지는 계절적 변화 양상을 보였지만 2004년부터는 계절적인 변화를 보이지 않았다. 특히 해양환경에서 COD는 해역의 영양정도를 간접적으로 나타내는 중요한 수질지표의 하나로서 1 mg L^{-1} 이하일 경우 빈영양해역(oligotrophic zone), $1 \sim 3 \text{ mg L}^{-1}$ 이면 부영양해역(eutrophic zone), $3 \sim 10 \text{ mg L}^{-1}$ 이면 과영양해역(hypereutrophic zone), 그리고 10 mg L^{-1} 이상이면 부패해역(dystrophic zone)으로 될 가능성을 가지고 있다. 조사기간 동안 가막만은 평균 3.5 mg L^{-1} 로 수질 III등급에 해당하는 범위를 보였지만, 2004년 이후 3 mg L^{-1} 이하로 수질 II등급에 해당하는 범위를 보여 해수욕 등 해양의 관광 및 여가선용과 수산생물에 적합한 수질이라 볼 수 있다.

총질소와 총인은 2006년으로 갈수록 감소하는 경향을 보였는데, 이는 조 등(1994)의 연구결과와 같은 경향을 보였다. 또한, 최근 하수종말처리장의 완성과 선소해역에서의 오염 저니 준설 작업, 만 내에서의 어장 정화작업 등으로 환경변화가 크게 일어나고 있기 때문이라 생각되어진다. 가막만의 수질환경의 장기적인 환경변화를 평가하여볼 때 가막만의 수질환경과 저서환경이 점차 개선되고 있다고 판단되어지며, 향후 지속적이고 환경변화에 따른 효율적인 해양환경관리 계획을 수립할 필요가 있다고 생각되어 진다.

강열감량은 7.83~13.55%로서 진해만에서 Cho *et al.* (1982)에 의해 보고된 8.1~14.2%와 영산강 하구역 임과 박(1998a)에 의해 보고된 3.35~15.45%와 유사한 값을 보였다.

2. 이매패류 군집의 연간변동

가막만의 6년 동안 12개 정점에서 총 28종의 이매패류가 출현하였으며, 평균서식밀도는 $226.72 \pm 196.20 \text{ ind. m}^{-2}$ 로 나타났다. 이런 출현종수는 채집방법이나 지역적인 차이로 인하여 다르게 나타나기 때문에 명확한 비교는 될 수 없다. 이매패류와 연체동물(Phylum Mollusca)을 동등한 입장에서 비교할 수 없지만 이매패류를 포함하는 분류군으로 간주하여 비교하면, 우리나라의 다른 내만과 비교할 때 이매패류의 경우 가덕도에서는 31종 328 ind. m^{-2} 로 보고되었고(윤과 백 2001), 득량만에서는 이매패류 군집을 포함하는 연체동물이 14종, 920 ind. m^{-2} (마 등 1995), 인천연안 해역 67종, 346 ind. m^{-2} (유 등 2004), 앵강만 46종, 216 ind. m^{-2} (임 등 1999)로 보고되어 연체동물 전체를 기준으로 볼 때 가막만은 가덕도, 득량만과 인천연안 해역보다는 낮은 서식밀도를 보였지

만, 앵강만보다는 다소 높은 서식밀도를 보였다. 특히, 2003년 9월 조사에서는 다른 시기와 달리 이매패류가 현저하게 낮게 출현하였는데 이는 태풍 매미로 인하여 저 염분수와 고수온에 의한 복합적인 영향으로 저층 빈 산소 수괴 형성 때문으로 판단된다.

일반적으로 해수의 순환이 원활한 지역에 생물이 가 입할 기회가 많아짐으로써 종 다양성이 높게 나타나게 되는데 (Snelgrove and Butman 1994), 가막만은 출현종수 및 서식밀도에서 2001년에서 2006년으로 갈수록 증가 하는 경향을 보여 가막만의 해수 순환이 원활하게 이루어져 유기오염, 빈 산소층 형성 등의 환경요인에 영향을 받아 생물이 서식하기에 적절한 환경으로 개선되어 지고 있다고 판단되어 진다. 전 조사기간 중 최우점종으로 는 종뿔, 민뽕집시조개, 아기반투명조개, 진주담치, 농조 개, 바지락이 있었다.

종뿔은 어과섭식자로서 아기반투명조개와 같이 유기 물이 풍부한 지역에서 출현하는 오염지표종으로 내만이 나 하구역의 조하대 연성저질에 족사를 이용하여 착생 하는데 이때 이 족사들이 서로 엉켜 저서환경을 염기성 상태로 변화시켜 저서 군집구조도 변화 시키는 것으로 알려져 있다 (Morton 1974; Crooks 1992). 임과 박 (1998c) 의 연구결과와 같이 봄철에 증가하기 시작하여 여름철 에 최대의 서식밀도를 보이다가 가을철에 다시 현저하 게 감소하는 결과를 보였다. 2004년 가막만 준설 및 어 장정화 사업 이후 출현밀도가 높게 나타났다.

이러한 결과는 가막만 준설 및 어장정화 사업이 주로 오염농도가 높은 만내 최상부인 정점 1, 2, 3, 4를 위주로 시행되어졌으며, 이로 인하여 상대적으로만 외해역인 정 점 10, 11, 12에서 높게 출현하여 우점종 및 군집구조에 영향을 미친 것으로 사료된다.

민뽕집시조개는 2004년 11월부터 증가하기 시작하여 2005년 4월에 가장 높은 출현밀도를 보였으며, 2006년 으로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 다른 년도에 비해 2005년에 높은 밀도를 보였는데, 이는 가막만 내만에 있 는 정점에서 다량으로 출현한 것으로 나타났으며, 가막 만의 준설 및 어장정화로 내만의 환경이 개선되어 나타 난 것으로 판단되어진다.

아기반투명조개는 유기물의 농도가 높고, 빈산소가 발 생하는 내만에서 주로 출현하는 종으로서 이종의 밀도 는 여름철 산소 결핍과 같은 환경조건의 변화에 따라 쉽게 변동하므로 부영양화된 해역의 지표종으로 사용되 기도 한다 (Imabayashi and Tsukuda 1984; 임과 홍 1997a; 임과 박 1998b). 본 연구결과에서 아기반투명조개는 2002년과 2004년에 높은 출현밀도를 보였으며, 특히, 임 등 (1995)의 결과와 같이 봄철에 출현량이 많았고 가을

철에는 출현량이 적었다. 준설 이후인 2005년으로 갈수 록 현저하게 감소하는 경향을 보였다.

가막만의 농조개는 2005~2006년 높은 출현양상을 보였는데, 계절적 요인으로 4월부터 새로운 개체가 가입 된 결과인 것으로 판단되며, 이는 Zhijiang *et al.* (1991)의 5월 중순부터 10월 초순에 걸친 농조개의 산란시기와 일치하는 결과를 보여주었다.

가막만의 연도별 이매패류의 종조성에 근거한 군집구 조에 영향을 미치는 주요환경요인으로는 COD로 2001 ~2003년에 해당하는 Group A는 준설 및 어장정화가 진행되고 있는 시기로서 COD는 III등급 수질을 나타내 었으며, 저질 COD는 오염니 기준치 (COD: 20 mg g-dry⁻¹) 보다 높게 나타나 가막만이 오염된 상태임을 나타내었 다. 2004~2006년에 해당하는 Group B는 준설 및 어장 정화 이후 시기로 볼 수 있는데, COD가 3.0 mg L⁻¹ 이하 로 수질등급 II등급에 해당하는 범위를 보였으며, 저질 COD 또한, 오염니 기준치 보다 낮게 나타나 수질 및 저 서환경이 갈수록 안정화되어 가고 있다고 판단되어진다.

가막만의 연간 우점종 변동은 진주담치, 아기반투명조 개, 매희이집시조개, 민뽕집시조개, 종뿔으로 우점 출현하 여 저서생태계가 조금씩 변화하고 있다고 생각되어 진 다. 하지만, 전반적으로 오염지표종이 우점종을 차지하고 있어 출현종수와 서식밀도가 높다고 해서 그 해역이 좋 다고 평가 할 수 없다고 판단되어지며, 가막만의 준설 및 어장정화, 하수종말처리장 등으로 인해 환경은 안정 화 되어 가고 있지만 유용하게 이용할 수 있는 이매패 류는 현저하게 낮은 밀도로 출현하고 있어 가막만의 환 경을 주기적으로 모니터링하고 저서생물에 대한 반응 등에 대해 보다 면밀한 조사가 필요하다고 사료된다. 또 한, 현 가막만에서 양식되고 있는 이매패류를 적극적으로 관리하고 새로운 종을 가입시켜 유용생물을 증가 시 킬 수 있는 노력 또한 필요할 것으로 여겨진다.

적 요

본 조사에서는 양식업 및 수산업에 있어서 중요한 부 분을 차지하고 있는 가막만을 대상으로 수질환경 변화 에 대한 이매패류의 군집구조 및 연간변동을 파악하고 물리적·화학적 환경이 이매패류 군집에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 가막만 해역의 12개 정점을 설정하 고 2001년부터 2006년까지 4월, 7월, 9월, 11월 계절별로 조사한 결과 이매패류 총 28종이 출현하였으며, 평균 서 식밀도는 226.72 ± 196.20 ind. m⁻²의 변동범위를 보였다. 화학적 산소요구량은 평균 3.03 mg L⁻¹에서 1.89 mg L⁻¹

로 감소하였으며, 특히, 저층 퇴적물의 화학적 산소요구량은 평균 $21.51 \text{ mg g-dry}^{-1}$ 에서 $16.99 \text{ mg g-dry}^{-1}$ 수준으로 감소하여 가막만의 수질 등급이 III등급에서 II등급 수준으로 개선되어 가고 있는 것으로 나타났다.

가막만의 우점종은 총 13종으로 전체 이매패류의 96.75%를 차지하였다. 이중 가장 우점한 종은 종돔으로 평균 서식밀도는 $100.38 \text{ ind. m}^{-2}$ (22.16%)이었으며, 민따접시조개가 $69.00 \text{ ind. m}^{-2}$ (15.23%), 아기반투명조개가 $49.70 \text{ ind. m}^{-2}$ (10.97%), 진주담치가 $42.18 \text{ ind. m}^{-2}$ (9.31%), 농조개가 $40.99 \text{ ind. m}^{-2}$ (9.05%) 등으로 우점 출현하였다. 이매패류의 종조성에 근거한 집괴분석 결과 Group A, B, C의 3개의 군집으로 나누어졌으며, 다시 세분화 하면 A I, A II, A III, B I, B II, C로 나누어지는 양상을 보였다.

참 고 문 헌

- 강 훈, 김종구. 2006. 생태계 모델을 이용한 가막만 해역의 환경용량 산정. 한국환경과학회지. 15:951-960.
- 김동성, 제종길, 신상호. 2000. 가막만의 중형저서생물을 활용한 오염모니터링. 한국수산학회지. 33:307-319.
- 김종구. 2005. 생태계모델을 이용한 가막만의 환경용량 산정. 해양환경안전학회 학술발표대회 논문집. 147-151.
- 노일현, 윤양호, 김대일, 오석진. 2006. 가막만에서 분리한 유해성 침편모조류 *Chattonella marina* (Subrahmanyn) Hara et Chihara (Raphidophyceae)의 성장에 미치는 수온, 염분 및 빛의 영향. 한국수산학회지. 39:487-494.
- 마채우, 홍성운, 임현식. 1995. 득량만의 저서생물 분포. 한국수산학회지. 28:503-516.
- 백상규, 윤병선, 김구환, 윤성규. 2005. 진해 안골조간대에 서식하는 대형저서동물의 군집구조. 한국환경생물학회. 23:106-113.
- 신현출. 1995. 가막만의 다모류군집. 한국해양학회지. 30:205-261.
- 양한섭, 김성수, 김규범. 1995. 득량만 표층수중 영양염류의 시공간적 분포특성. 한국수산학회지. 28:475-488.
- 윤양호. 2000. 가막만 북부해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 변동특성 2. 수질환경과 엽록소 *a*량의 변동 특성. 한국환경과학회지. 9:429-436.
- 윤성규, 백상규. 2001. 가덕도 주변해역 대형저서동물군집 구조의 특성. 한국수산학회지. 34:493-501.
- 윤상필, 정래홍, 김연정, 김성수, 이재성, 박종수, 이원찬, 최우정. 2007. 가막만의 저서환경과 다모류군집 특성. 한국해양학회지. 12:287-304.
- 유옥환, 고병설, 이형근, 이재학. 2004. 인천연안 대형저서동물 군집 변동에 미치는 환경요인의 영향. 한국수산학회지. 37:423-432.
- 이규형. 1993. 가막만의 양식굴의 생산에 관한 수산해양학적 연구. 이학박사학위논문. 부산수산대학교. 180pp.
- 이대인, 조현서. 2002. 가막만 유역의 오염부하 특성에 관한 연구. 한국환경과학회지. 11:945-954.
- 이무형, 이준백, 이진애, 박종규. 1999. 가막만 일대 편모조류 군집구조와 휴면시스트의 동태. 한국조류학회. 14:255-266.
- 이연규, 김종규, 이규형, 윤양호, 한경호, 신현출, 조현서, 최상덕. 2006. 가막만 자연환경과 산업. 구덕출판사. 247pp.
- 이정호. 2007. 광양만 저서 다모류 군집의 장기변동. 이학석사학위논문. 전남대학교. 67pp.
- 임현식, 홍재상. 1994. 해양 저서동물 군집을 이용한 진해만의 환경평가. -종별 개체수 분포 특성에 따른 그래프 분석기법을 적용- 한국수산학회지. 27:659-672.
- 임현식, 홍재상. 1997a. 진해만 저서동물의 군집생태 2. 우점종의 분포. 한국수산학회지. 30:161-174.
- 임현식, 홍재상. 1997b. 진해만 저서동물의 군집생태 3. 군집구조. 한국수산학회지. 30:175-187.
- 임현식, 박경양. 1998a. 영산강 하구역의 연성저질에 서식하는 저서동물 군집 1. 저서환경. 한국수산학회지. 31:330-342.
- 임현식, 박경양. 1998b. 영산강 하구역의 연성저질에 서식하는 저서동물 군집 2. 여름철 빈산소 수괴의 출현과 저서동물 분포. 한국수산학회지. 31:343-352.
- 임현식, 박경양. 1998c. 목포 주변 해역 갯벌 조간대에 서식하는 종돔 *Musculista senhousia* (Bivalvia: Mytilidae)의 개체군 생태 1. 분포와 성장. 한국패류학회지. 14:121-130.
- 임현식, 박홍식, 최진우, 제종길. 1999. 남해 앵강만 조하대 연성저질 저서동물 군집. 한국해양학회지. 4:80-92.
- 임현식, 홍재상, 제종길. 1995. 진해만에서 아기반투명조개 *Theora fragilis* (Mollusca: Bivalve)의 분포. 한국패류학회지. 11:21-34.
- 장승민, 최영찬. 2002. 제주도 중문관광단지 연안해역 수질의 계절변동. 한국환경공학회지. 5:3-18.
- 조현서, 유영석, 이규형. 1994. 가막만 수질 및 저질환경의 계절적 변동특성. 여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고. 3:21-34.
- 팽우현. 2003. 가막만에 양식장 주변해역 수질 및 저질환경 특성에 관한 연구. 이학석사학위 논문. 여수대학교. 64pp.
- 해양수산부. 2005. 해양환경공정시험방법. 389pp.
- Bonsdorff E. 1980. Macrozoobenthic recolonization of dredged brackish water bay in SW Finland. *Ophelia*. Suppl. 1:145-155.
- Bray JR and JT Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.* 27:325-349.
- Cho CH, HS Yang, KY Park and MK Youm. 1982. Study on bottom mud of shellfish farms in Jinhae Bay. *Bull. Korean*

- Fish. Soc. 15:35-41.
- Clarke KR. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Aust. J. Ecol.* 18:117-143
- Clarke KR and RN Gorley. 2001. Primer v5. Roborough. Plymouth. UK: Plymouth Marine Laboratory. www.primere.com.
- Clarke KR and RM Warwick. 2001. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Marine Ecology Progress Series* 216:265-278.
- Crooks JA. 1992. The ecology of the introduced bivalve, *Musculista senhousia*, in Mission Bay. San Diego. M.S. Thesis. San Diego State University. California. 157pp.
- Dauvin JC. 1987. Evolution a long terme (1976-1986) des populations d'Amphipodes des sables fins de la Pierre Noire (Baie de Morlaix, Manche Occidentale) après la catastrophe de l' Amoco Cadiz. *Mar. Environ. Res.* 21:247-273.
- Degobbi D. 1989. Increased Eutrophication of the Northern Adriatic Sea. *Second Act. Mar. Poll. Bull.* 20:452-457.
- Diaz RJ, GR Cytter Jr and DM Dauer. 2003. A comparison of two methods for estimating the status of benthic habitat quality in the Virginia Chesapeake Bay. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 371-381.
- Groot JS. 1979. An assessment of the potential environmental impact of large scale sand dredging for the building of artificial islands in the North Sea. *Ocean Managem.* 5:211-232.
- Hily C. 1983. Macrozoobenthic recolonization after dredging in a sandy mud area of the Bay of Brest enriched by organic matter. In *Oceanologica Acta. Proceedings of the 17th Europ. Mar. Biology Symposium*, 113-120.
- Imabayashi H and D Tsukuda. 1984. A population ecology of the small bivalve *Theora lubrica* in northern Bingo-Nada. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 50:1855-1862.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.* 3:157-175.
- Morton B. 1974. Some aspects of the biology, population dynamics, and functional morphology of *Musculista senhousia* benson (Bivalvia, Mytilidae). *pacific Science.* 28:19-33.
- Park JS and YH Yoon. 2003. Marine environmental characteristics by distribution of dinoflagellate Cysts in the southwestern coastal waters of Korea I. Spatio-temporal distribution of dinoflagellate Cysts in Gamak Bay. *J. Kor. Fish. Soc.* 36:151-156.
- Pearson TH and R Rosenberg. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 16:229-311.
- Pielou EC. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collection. *J. Theoret. Biol.* 13. 131-144.
- Shannon CE and W Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois press. Urbana. 177pp.
- Snelgrove PVR and CA Butman. 1994. Animal-sediment relationships revised : cause versus effect. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 32:111-177.
- Wright DA and DJH Phillips. 1988. Chesapeake and San Francisco Bays: a study in contrasts and parallels. *Mar. Pollut. Bull.* 19:405-413.
- Yang DB and JS Hong. 1988. On the biogeochemical characteristics of surface sediments in Chinhae Bay in September 1983. *Bull. Kor. Fish. Soc.* 21:195-205.
- Zhijiang Z, L Fuxue and K Caihuan. 1991. On the sex gonad development and reproductive cycle of clam *Phaphia undulata*. *J. Fish. China. Shuican. Xuebao.* 15:18-26.

Manuscript Received: July 7, 2008
Revision Accepted: October 28, 2008
Responsible Editor: Jong Sun Kim