

## 진주만에서 저서 다모류의 시·공간 분포

강창근<sup>\*</sup> · 백명선 · 김정배 · 이필용  
국립수산진흥원 환경관리과

### Seasonal and Spatial Distribution of Soft-bottom Polychaetes in Jinju Bay of the Southern Coast of Korea

Chang-Keun KANG, Myung Sun BAIK, Jeong-Bae KIM  
and Pil-Yong LEE

Marine Environment Management Division, National Fisheries Research &  
Development Institute, Kijang-gun, Pusan 619-902, Korea

Seasonal quantitative van Veen grab sampling was conducted to characterize the composition and structure of the benthic polychaete community inhabiting the shellfish farming ground of a coastal bay system of Jinju Bay (Korea). A total of 132 polychaete species were identified and the polychaetes accounted for about 80% of overall abundance of benthic animals. There was little significant seasonal difference in densities (abundances) of polychaetes. Maximum biomass was observed in summer (August) and minimum value was recorded in winter (February) and spring (May). Conversely, diversity and richness were lowest in summer, indicating a seasonal variability in the polychaetous community structure. The cluster analysis indicated that such a seasonal variability resulted mainly from the appearance of a few small, r-selected opportunists in spring and the tubicolous species of the family Maldanidae in summer. On the other hand, several indicator species for the organically enriched environments such as *Capitella capitata*, *Notomastus latericeus* and *Lumbrineris* sp. showed high densities during all the study period. Density and biomass of univariate measures of community structure were significantly lower in the arkshell-farming ground of the southern area than in the non-farming sites of the bay. A similar general tendency was also found in the spatial distributions of species diversity and richness. Principal component analysis revealed the existence of different groups of benthic assemblages between the arkshell-farming ground and non-farming sites. The lack of colonization of r-selected opportunists and/or tubicolous species in the former ground seemed to contribute to the spatial differences in the composition and structure of the polychaetous communities. Although finer granulometric composition and high sulfide concentration in sediments of the arkshell-farming ground and low salinity in the northern area were likely to account for parts of the differences, other environmental variables observed were unlikely. The spatial distribution of polychaetes in Jinju Bay may be rather closely related to the sedimentary disturbance by selection of shells for harvesting in spring.

Key words: Benthic polychaete community, Shellfish farming ground, Organic enrichment, Coastal bay system, Jinju Bay

## 서 론

폐쇄성이 강한 연안의 내만 해역은 주변 육상의 인간활동에 의한 영향을 크게 받는 동시에, 높은 생산력을 가지고 외해로부터 풍파를 피할 수 있다는 조건 때문에 양식활동에 집중적으로 이용되어 왔다. 내만역에서 오랜 기간동안 이러한 양식활동의 증가는 필연적으로 양식생물의 미 이용 먹이와 그들의 배설물에 의해 퇴적물 중 유기물의 과도한 축적을 초래하여 왔다. 따라서, 육상 오염물질 유입과 함께 이들 해역의 유기오염물 축적을 가속화하고 있어 집약양식에 대한 내만 환경 관리는 해결해야할 중요한 과제로 인식되어 왔다 (McLusky, 1989; Defur and Rader, 1995; Hastings and Heinle, 1995). 이와 같은 관점에서, 반폐쇄성 내만 해역 관리는 경제적 이용과 환경 보존사이의 균형을 필요로 한다. 한반도 남해안에서 진주만은 이와 같은 양식장 개발과 환경 보존을 동시에 고려해야 하는 한 좋은 예이다. 반폐쇄성 내만으로 특징지어지는 진주만은 오랫동안 피조개 (*Scapharca broughtonii* Sreenck) 양식장으로서 개발·이용되어왔는데, 최근에 이르러 물리적

환경 변화와 부영양화 및 패류들이 서식하는 퇴적물 오염 등으로 양식피조개의 성장둔화 및 대량폐사와 함께 이들의 서식가능지는 점차 축소되고 있다 (MAF, 1998). 결국, 이와 같은 현상은 어류 양식시설 외에 과도한 패류양식 역시 수중 입자물질을 여과하여 배설물 형태로 퇴적시키는 역할 때문에 퇴적물 중 유기물 축적과 함께 저서환경과 생태계에 변화를 초래할 수 있다는 것을 나타낸다 (Lim et al., 1992; Feuillet-Giard et al., 1994; Dankers and Zuidema, 1995).

대형 저서동물 군집이 해양생태계 내에서 수행하는 역할과 기능은 다양하지만 이들 대부분은 고착성이거나 이동성이 대단히 약하여 환경의 장기적인 변화 지표가 될 수 있기 때문에 다른 생물군에 비하여 저서동물 군집의 구조변화를 조사함으로써 해당 해역의 환경변화나 유기물 부하 및 오염 영향을 더욱 효과적으로 평가할 수 있다 (Pearson and Rosenberg, 1978; Gray, 1981; Warwick, 1986; Lee et al., 1997). 연성기질의 저서동물 군집은 퇴적물 형태와 밀접한 관련을 가지기 때문에 (Rhoads, 1974; Jumars, 1975; Gambi and Giangrande, 1986), 파랑이나 조석, 해류와 같은 요인들에 의한 연성기질의 물리적 교란은 저서동물 군집 조성 구조에 큰 영향을 미칠 수 있지만 (Pires, 1992; Hall, 1994), 일반적으로 유

<sup>\*</sup> Corresponding author: ckkang@nfrdi.re.kr

사한 퇴적환경 하에서 유기물의 부하량 증가도 종 풍도, 생체량, 생물 크기 및 총 개체수 (특히, 기회종) 변화를 초래하는 것으로 알려져 있다 (Pearson and Rosenberg, 1978; Weston, 1990; Drake and Arias, 1997; Lim and Hong, 1997). 따라서, 진주만과 같이 높은 밀도의 패류양식이 이루어지는 해역에서는 퇴적물중 유기물이 고농도로 축적될 수 있을 뿐만 아니라 (Kang et al., 1993), 이른 봄철 형망을 이용한 피조개 채취는 퇴적물의 물리적 교란을 대규모로 일으키므로 살포식 패류양식장에서 이와 같은 저서환경의 교란은 주변의 저서동물 군집구조에 유의한 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상된다.

지금까지 한반도 연안 내만에서 저서동물 군집에 대한 연구는 육상으로부터 유기물 유입이나 빈산소수괴 형성 (Hong and Lee, 1983; Hong, 1987; Lim and Hong, 1997), 수하양식장의 양식생물 (Lim et al., 1992) 및 가두리 양식장 양식생물 (Park et al., 2000) 등의 영향에 대하여 집중되어 왔는데, 이 연구들은 다량의 유기물 부하가 해당 해역의 저서동물 군집 변동을 초래한다는 것을 잘 보여준다. 한편, 연성저질의 살포식 패류양식장에서 양식패류에 의한 자가오염적 생물퇴적 (biodeposition) 가능성에도 불구하고 이들 해역에 대한 저서동물 분포는 큰 주목을 받지 못해왔다.

본 연구에서는 진주만의 피조개 살포식 양식장 수역과 만내 주변해역을 대상으로 저서환경 특성을 파악하고, 저서 다모류의 군집특성을 조사하였다. 저서 다모류는 연성저질에 서식하는 동물중 가장 대표적인 분류군으로 대형 저서동물 군집구조 변화의 지시자로서 특히 중요하다. 따라서, 본 연구의 목적은 살포식 패류양식에서 저서환경 변화와 그에 따른 저서 다모류 군집의 변동을 밝히는 것이었다.

재료 및 방법

연구해역

본 연구가 수행된 진주만 수역은 남해도와 창선도 및 사천시, 하동군 등으로 둘러싸인 내만성 해역 (Fig. 1)으로 최대 수심은 창선도와 사천시 사이의 대방수로 근처에서 약 20 m 정도를 나타내지만 대부분 수역이 10 m 이내의 수심으로 천해의 특징을 가지며, 최대 조석간만 차이는 360 cm에 이르고, 조석류는 북쪽의 대방수로, 노랑해협 및 창선도와 남해도 사이 창선수도를 통하여 흐르고, 연중 비주기적으로 만 북쪽에 위치한 남강 방류수에 의한 담수 영향을 받는다 (MAF, 1998). 이 해역에서는 주로 남해도와 창선도 사이 남부 내만 수역이 오랫동안 피조개 살포양식장으로 이용되어 왔는데, 1987년 2,730 M/T (시설면적 420 ha)으로 최대 생산량을 나타낸 이후 최근까지 그 생산량은 격감하여 1995년에는 690 M/T (시설 500 ha)의 가장 낮은 생산량을 보였다. 또한, 북부의 남해도에 면한 수역은 굴수하양식장으로 이용되고 있다. 최근 주변 육상영역의 도시화와 계속된 양식활동은 이 수역의 부영양화를 가속화하고 있어 어장으로서 기능을 회복시키기 위한 노력들을 기울이고 있지만 과학적인 연구조사는 미흡한 실정이다.

시료채취 및 분석

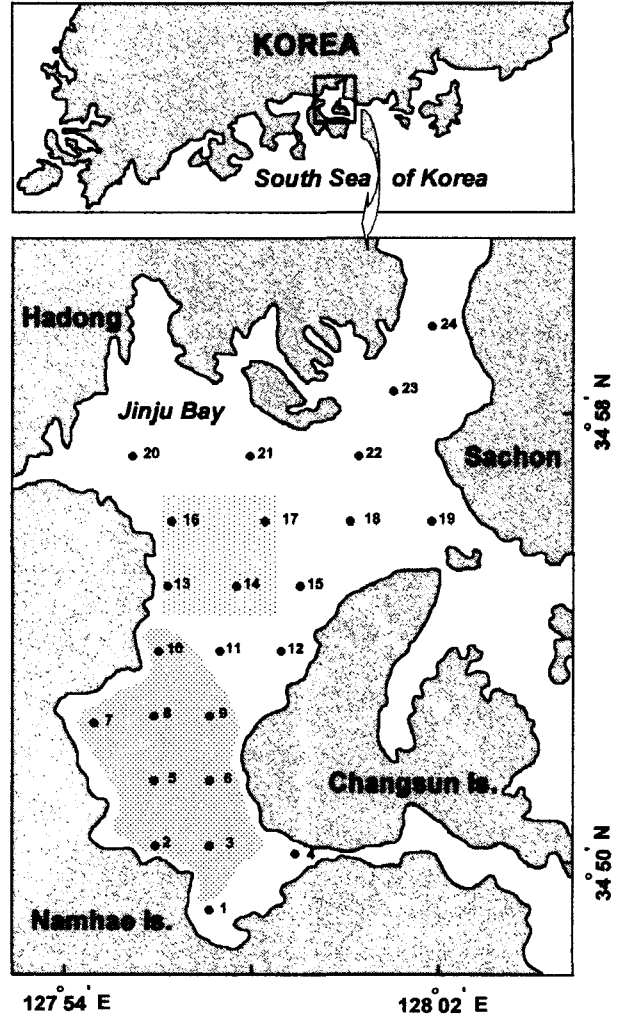


Fig. 1. Map of Jinju Bay, Korea showing location of stations sampled. Shaded area indicates shellfish farming ground for the arkshell (dense) and the oyster (sparse).

본 조사를 위해 진주만에 총 24개 조사정점을 설정하였는데 (Fig. 1), 저서동물은 1999년 8월에 18개 정점, 11월에 11개 정점, 2000년 2월에 16개 정점 및 5월에 23개 정점에서 4계절에 걸쳐 채집하였다. 계절별로 조사 정점이 상이함에 기인하여 나타날 수 있는 생태학적 분석결과의 차이를 고려하여 전체 조사정점에서 얻어진 자료와 1999년 11월에 조사한 11개 정점과 동일한 정점들에서 계절별로 측정된 자료를 비교하여 조사 결과의 신뢰도를 함께 고려하였다 (결과참조). 저서생물의 시료 채집은 van Veen grab 채취기 (채취면적 0.12 m<sup>2</sup>)를 사용하였으며, 각 조사정점 당 2회씩 해저퇴적물 시료를 채취하였다. 채취된 퇴적물을 선상에서 1 mm 망목의 체에 걸러 남은 동물을 포함한 잔존물은 5% 중성 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반한 후, 해부현미경하에서 분류군별로 선별하고, 다모류는 종 수준까지 동정·계수하였다. 각 조사정점에서 동정된 종은 각각 종별로 구분하여 동결건조하여 건조중량을 구하고, 미세한 분말을 만든 후 다시 전기로에서 550°C로 2시간

가열, 방냉시킨 후 평량하여 그 차이로부터 회분제외중량 (Ash-free dry weight, AFDW)을 구하여 생물량으로 나타내었다.

수온, 염분 및 용존산소는 24개 정점에 대해 현장에서 CTD meter (SeaBird type)를 이용하여 수심별로 측정하였는데, 본 연구에서는 표층퇴적물로부터 약 1 m 상부 수층의 자료들을 저층 자료로 이용하였다. 유기물과 원소분석 및 입도분석을 위한 퇴적물 시료는 Core 채취기로 채취한 후, 실험실로 옮겨 분석할 때까지 냉동 보관하였다. 표층퇴적물의 유기물 함량은 함수율을 측정된 퇴적물 일정량을 전기로에서 550°C로 2시간 가열한 후 데시케이터에서 방냉시켜 무게를 달아 건조 퇴적물시료에 대한 무게차이를 계산하여 % 강열감량 (ignition loss)으로 나타내었다. 유기탄소와 질소 함량은 탄산염을 제거하기 위하여 10% HCl로 처리한 후, CHN analyzer (Perkin Elmer 2400)로 분석하였으며, 단위는 건조시료 중량 당 총 함량의 % 단위로 나타내었다. 산화발성 황화물 (AVS, 여기서는 황화물로 정의함)은 습시료 일정량을 평량하여 검지관 (Gaster ®)으로 측정하여  $\text{mg} \cdot \text{g dry}^{-1}$ 로 나타내었다.

표층퇴적물의 입도분석은 약 10 g 정도의 퇴적물을 염산과 과산화수소수 용액으로 탄산염과 유기물질을 제거한 후 조립질 (4  $\phi$  미만)과 세립질 (4  $\phi$  이상)로 구분하여, 조립질 시료는 표준건조 체 분석방법으로, 세립질 시료는 피펫분석법으로 분석하였다. 각 정점의 퇴적물상은 Shepard (1954) 방법에 따라 퇴적물 유형 3각 분류도에 나타내었다.

#### 자료 처리

분리·동정된 종 개체수 (density)와 생체량 (biomass)은 각 정점에서 2회 채집한 합으로 계산하였으며, 0.24 m<sup>2</sup> 단위면적당으로 표시하였다. 군집분석을 위한 종 다양성 (diversity)은 Shannon-Wiener 지수 ( $H'$ , Shannon and Wiener, 1963), 균등도(evenness)는 Pielou 지수 ( $J'$ , Pielou, 1966)를 계산하였으며, 종 풍도 (richness)는 출현종 수로서 나타내었다. 이들 변수들의 조사시점별, 각 정점에서의 변동은 Kruskal-Wallis test를 이용하여 비모수 검정을 실시하였고, 처리구간 상호간의 다중비교를 위한 사후분석은 Dunn의 검정법 (Zar, 1984)을 이용하였다.

저서동물의 우점종은 총 출현개체수에 순위를 정하고, 총 개체수 중 1% 이상 출현한 종을 우점종으로 하였다. 정점간 유사도 (Q mode)를 평가하고 군집 경계 (R mode)를 정하기 위하여 이들 우점 저서동물종들을 대상으로 집괴분석 (Cluster analysis)을 실시하였다. 집괴분석은 제곱유클리디언거리 지수 (Squared Euclidean Distances)를 이용하여 대상들 사이의 유사도 지수를 구한 후, 각 대상의 군집화는 비가중평균결합법 (UPGMA)을 사용하였다. 이때 각 대상의 개체수 자료는 정점간, 종간 심한 밀도차이에 의한 자료의 편중을 피하기 위하여 대수변환 [ $\log(x+1)$ ] 하였다. 연구수역 저서동물 분포에 영향을 미치는 환경요인을 평가하기 위하여 8개 저서환경 변수들의 상관계수행렬 (correlation matrix)을 이용하여 주성분분석 (Principal Component Analysis)을 실시하고 2차원 공간에 그 결과를 도시하였다. 여기서 사용된 변수는 저층 수온, 염분, 용존산소, 퇴적물의 유기물 함량, 황화물 농도, 유기탄소와 질소 함량 및 퇴적물의 평균 입도 등이었다. 또한, 다

모류 군집 분포와 환경요인과의 관계를 평가하기 위한 시도로서 집괴분석에 이용된 주요 우점종의 출현빈도자료를 이용하여 월별로 주성분분석을 수행하고, 새로운 요인들에 대하여 각 정점들이 보이는 요인 점수 (factor score)와 환경 변수들 사이에 상관관계 분석을 실시하였다. 여기서 통계분석은 SPSS 10.0 (SPSS Co.) 프로그램을 이용하여 수행하였다.

## 결 과

#### 저서환경

저층 수온은 2000년 2월에 평균 5.0 ( $\pm 1.0$ )°C로 가장 낮았고 1999년 8월에 24.0 ( $\pm 0.3$ )°C로 가장 높았으며, 저층 염분은 8월에 평균 28.5 ( $\pm 1.1$ )로 가장 낮고 2월과 5월에 각각 33.3 ( $\pm 0.3$ )과 33.5 ( $\pm 1.2$ )로 다른 계절에 비하여 상대적으로 높은 값을 나타내었고, 저층 용존산소 변동은 염분과 유사한 계절 변동 양상을 나타내어 수온이 높은 8월에 평균 5.6 ( $\pm 0.5$ ) mg/L로 가장 낮았고 2월에 9.8 ( $\pm 0.3$ ) mg/L로 가장 높은 농도를 기록하였다 (Table 1).

겨울철인 2000년 2월에 채집된 퇴적물 입도분석 결과, 모래 비율이 우세한 정점 24를 제외하면, 조사수역 퇴적상이 전반적으로 실트성 점토나 실트질로 구성되어 있는 것으로 나타났다 (Fig. 2). 퇴적물 입도는 5.2~8.4  $\phi$  범위였는데, 북부 수역 일부 정점들 (정점 20, 22, 23)과 함께 피조개 양식장이 밀집한 남부 내만수역으로 갈수록 입도가 세립해져 7.0  $\phi$  이상의 값을 나타내었지만, 창선도 남부수로에 위치한 정점 4와 북부 수역에서는 6.0  $\phi$  이하로 상대적으로 조립한 양상을 보였다. 강열감량으로 측정된 퇴적물의 평균 유기물 함량은 1999년 8월에 7.42 ( $\pm 0.80$ )%와 2000년 2월에 7.44 ( $\pm 1.09$ )%, 황화물의 평균 농도는 8월에 0.10 ( $\pm 0.08$ ) mg  $\cdot$  g dry<sup>-1</sup>과 2월에 0.15 ( $\pm 0.09$ ) mg  $\cdot$  g dry<sup>-1</sup>을 각각 나타내었으며, 월별 평균 유기탄소와 질소 함량은 각각 1.06 ( $\pm 0.25$ )~1.25 ( $\pm 0.22$ )%와 0.33 ( $\pm 0.15$ )~0.48 ( $\pm 0.20$ )% 범위로 계절에 따른 뚜렷한 함량 차이를 보이지 않았다 (Table 1).

2000년 2월 저서환경 자료들을 이용한 주성분분석 결과, 2개의 주요 인이 측정된 전체 환경변수 자료의 66%를 설명할 수 있었다 (Fig. 3). 주요인 I (성분축 I)에는 저층수의 염분, 용존산소 및 퇴적물의 질소 함량, 유기물 함량 등이 높은 요인 적재값을 나타내었으며, 주요인 II (성분축 II)에는 퇴적물의 평균 입도와 황화물 농도가 높은 요인 적재값을 보였다. 이에 따라 각 정점은 요인점수 (factor score) 분포에 의해 3개의 특징적인 정점군으로 구분되었다. 정점군 23과 24는 상대적으로 낮은 염분을 나타내어 나머지 정점군들과 뚜렷히 구분되었고, 정점군 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 18은 정점 18을 제외하면 피조개 양식장이 밀집한 남부 내만수역의 퇴적물 입도가 세립하고 황화물 농도가 상대적으로 높게 나타나는 정점들로 구성되며, 정점군 4, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 21, 22는 퇴적물 입도가 다소 조립하고 창선도 양측에 있는 협수로를 통해 조석에 의한 외해수 영향을 직접 받는 수역의 특징을 나타내었다.

#### 다모류 종 조성과 우점종

진주만에서 조사기간 동안 채집된 다모류는 총 132종으로 전체

Table 1. Abiotic parameters of the bottom waters and sediments measured during the present study

	Bottom waters			Sediments			
	Temperature (°C)	Salinity (psu)	Dissolved oxygen (mg · l <sup>-1</sup> )	Organic matter content (%)	AVS (mg · g <sup>-1</sup> )	C (%)	N (%)
August 1999	24.0 ± 0.3	28.5 ± 1.1	5.6 ± 0.5	7.42 ± 0.80	0.10 ± 0.08	1.25 ± 0.22	0.33 ± 0.17
November	16.9 ± 0.8	30.8 ± 0.5	6.9 ± 0.7	—	—	1.21 ± 0.14	0.33 ± 0.15
February 2000	5.0 ± 1.0	33.3 ± 0.3	9.8 ± 0.3	7.44 ± 1.09	0.15 ± 0.09	1.17 ± 0.44	0.48 ± 0.20
May	19.3 ± 0.8	33.5 ± 1.2	7.1 ± 0.4	—	—	1.06 ± 0.25	0.40 ± 0.28

AVS: acid volatile sulfide.

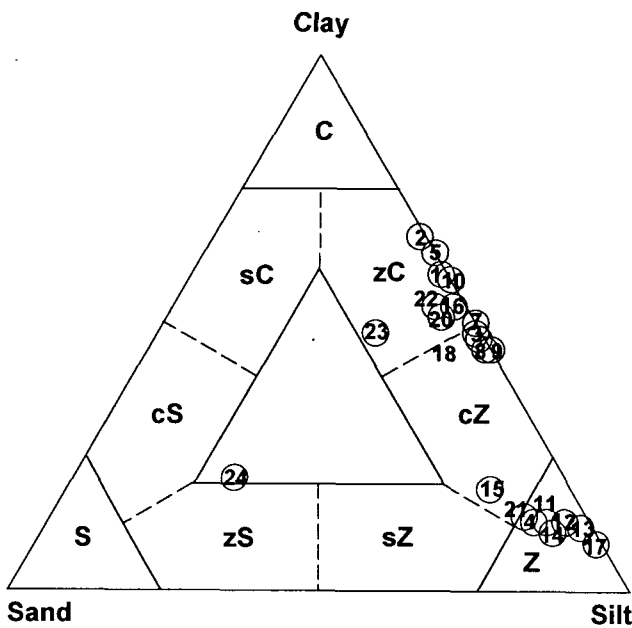


Fig. 2. Triangular diagram of sediment composition at each station of Jinju Bay. C, clay; sC, sandy clay; zC, silty clay; cZ, clayey silt; sZ, sandy silt; Z, silt; zS, silty sand; cS, clayey sand; S, sand.

출현 저서동물 개체수 중 78% 이상을 점유하는 가장 우점 동물 군으로 나타났다 (Table 2). 전 조사정점에서 얻어진 계절별 지수 값들과 1999년 11월의 조사정점과 동일한 11개 정점만을 대상으로 한 계절별 결과 값들 사이에는 대부분의 생태지수 자료에서 큰 차이를 나타내지 않아 (Table 2), 계절별로 상이한 조사정점 수에도 불구하고 결과에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되어 전체 조사정점에 대해서 얻어진 결과 값들로 생태학적 지수 지수의 계절변동을 나타내었다. 전 조사정점에 대한 다모류의 계절별 평균 서식밀도는 77.1 (± 51.9) (1999년 11월)~118.6 (± 141.1) (1999년 8월) ind. · 0.24 m<sup>-2</sup> 범위로 계절에 따른 유의한 차이를 나타내지는 않았다 (ANOVA test, p>0.05). 그러나, 평균 생체량은 1999년 8월과 11월에 각각 평균 465.1 (± 523.8)과 306.5 (± 305.2) mg AFDW · 0.24 m<sup>-2</sup>으로 2000년 2월과 5월의 182.1 (± 220.9)과 129.1 (± 150.8)보다 높아 비교적 뚜렷한 계절변동을 보였다 (p<0.05). 계절별 다양도 지수 (H') 평균값은 1999년 8월에 2.54 (± 0.88)로 다른 계절에 비하여 다소 낮은 양상이었는데 11월 이후 평균 3.18~3.44

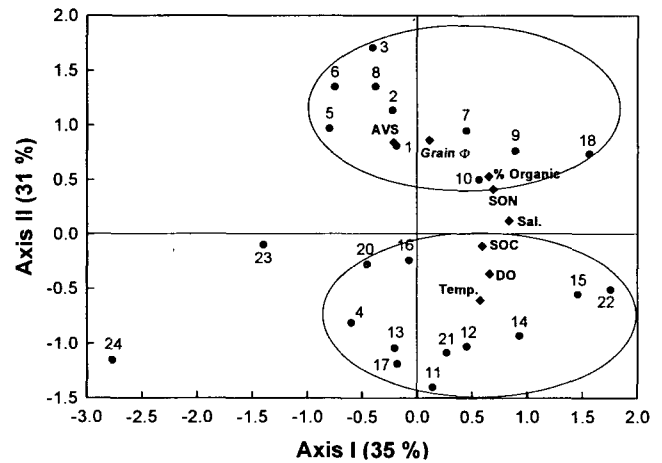


Fig. 3. Plot of the Principal Component Analysis applied over the abiotic variables (◆) and the sampling stations (●) in Jinju Bay. AVS, acid volatile sulfide; Grain Φ, mean grain size; % organic, organic matter content; SOC and SON, sedimentary organic carbon and nitrogen, respectively; Sal., salinity; DO, dissolved oxygen; Temp., temperature.

범위로 다소 증가하는 경향을 보였다 (p<0.05). 균등도 지수 (J')는 평균 0.88로 뚜렷한 계절 변동이 나타나지 않았으나, 정점별 평균 출현종 수는 비교적 큰 계절변동을 보여 1999년 8월에 평균 9.7 (± 5.5)종이 출현하여 다른 계절 (평균 13.1~18.7)에 비하여 다소 낮은 값을 기록하였다 (p<0.05).

조사기간 중 정점에 따른 다모류의 평균 출현 밀도는 13.5 (± 3.5) (정점1)~255.0 (± 202.6) (정점18) ind. · 0.24 m<sup>-2</sup> 범위로 정점에 따라 유의한 차이를 나타내어, 일반적으로 피조개 양식장이 밀집한 남부의 남해도와 근접한 내만 수역으로 갈수록, 그리고 북부의 저염분 정점들에서 출현 밀도가 낮아지는 경향이 뚜렷하게 나타났다 (Kruskal-Wallis ANOVA, p<0.05) (Fig. 4). 이와 유사한 정점별 경향성은 다모류 생체량에서도 기록되었는데 (Kruskal-Wallis ANOVA, p<0.01), 정점별 평균 생체량은 14.3 (± 12.2) (정점2)~737.8 (± 839.9) (정점18) mg AFDW · 0.24 m<sup>-2</sup> 범위였다. 조사 정점별 종다양성 지수는 평균 1.66 (± 1.45) (정점3)~3.83 (± 0.67) (정점12), 균등도 지수는 평균 0.75 (± 0.11) (정점2)~0.97 (± 0.05) (정점24), 평균 출현 종수는 5.5 (± 2.6) (정점5)~24.0 (± 6.6) (정점12) 범위였는데, 각 정점 지수값들에 대한 Kruskal-Wallis 비모수 검정결과는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지는

**Table 2.** Seasonal variation of total number of polychaetous species, % polychaeta density of total macrofaunal density and mean values ( $\pm$ SD) in the ecological indices (mean  $\pm$ SD) of polychaetous community in Jinju Bay in the present study. Data are compared between results for all stations investigated and for the same 11 stations as investigated in November 1999. Means followed by different superscript letters within the same row are significant different (multiple comparisons;  $p < 0.05$ )

Parameters	August 1999	November	February 2000	May
Total number of polychaetous species	65(18)	63(11)	97(16)	76(23)
% polychaeta/total macrofana density	81.7	85.9	87.1	77.8
for all stations investigated				
Number of stations	18	11	16	23
Density (number of individ. $\cdot$ 0.24 m <sup>-2</sup> )	118.6 <sup>a</sup> $\pm$ 141.1	77.1 <sup>a</sup> $\pm$ 51.9	84.9 <sup>a</sup> $\pm$ 74.7	111.5 <sup>a</sup> $\pm$ 79.9
Biomass (mg AFDW $\cdot$ 0.24 m <sup>-2</sup> )	465.1 <sup>a</sup> $\pm$ 523.8	306.5 <sup>ab</sup> $\pm$ 305.2	182.1 <sup>b</sup> $\pm$ 220.9	129.1 <sup>b</sup> $\pm$ 150.8
Diversity (H')	2.54 <sup>a</sup> $\pm$ 0.88	3.18 <sup>b</sup> $\pm$ 0.61	3.25 <sup>b</sup> $\pm$ 0.92	3.44 <sup>b</sup> $\pm$ 0.96
Evenness (J')	0.88 <sup>a</sup> $\pm$ 0.10	0.90 <sup>a</sup> $\pm$ 0.07	0.85 <sup>a</sup> $\pm$ 0.07	0.86 <sup>a</sup> $\pm$ 0.05
Richness (number of species $\cdot$ 0.24 m <sup>-2</sup> )	9.7 <sup>a</sup> $\pm$ 5.5	13.1 <sup>ab</sup> $\pm$ 4.8	17.1 <sup>b</sup> $\pm$ 8.9	18.7 <sup>b</sup> $\pm$ 9.0
for the same 11 stations				
Number of stations	11	11	11	11
Density (number of individ. $\cdot$ 0.24 m <sup>-2</sup> )	164.0 $\pm$ 164.9	77.1 $\pm$ 51.9	91.1 $\pm$ 84.5	120.3 $\pm$ 87.4
Biomass (mg AFDW $\cdot$ 0.24 m <sup>-2</sup> )	562.0 $\pm$ 631.7	306.5 $\pm$ 305.2	213.4 $\pm$ 261.6	167.2 $\pm$ 179.1
Diversity (H')	2.65 $\pm$ 0.74	3.18 $\pm$ 0.61	3.14 $\pm$ 1.03	3.47 $\pm$ 1.25
Evenness (J')	0.84 $\pm$ 0.10	0.90 $\pm$ 0.07	0.84 $\pm$ 0.07	0.86 $\pm$ 0.05
Richness (number of species $\cdot$ 0.24 m <sup>-2</sup> )	11.2 $\pm$ 5.9	13.1 $\pm$ 4.8	16.8 $\pm$ 9.3	20.6 $\pm$ 11.2

AFDW: ash-free dry weight.

않았으나 ( $p > 0.05$ ), 이들 제 지수 평균값 분포는 밀도와 생체량 분포에서 나타나는 것과 같이 피조개 양식장이 위치한 남부 내만 역과 북부의 저염분 수역에서 다소 낮은 경향이 관찰되었다.

조사기간 중 다모류 총 출현 개체수에서 1% 이상을 점유하는 우점종 구성과 출현 빈도는 계절에 따라 다소 상이하게 나타났다 (Table 3). 진주만에서 개체수에 있어서 전 계절에 가장 우점하는 다모류는 *Maldane cristata*와 *Lumbrineris* sp.로 각각 전체 출현 개체수의 11.1%와 6.7%를 차지하였다. 이들과 함께 여름철 (1999년 8월)에는 *Praxillella affinis*, *Asychis biceps*, *Clymenella koellikeri*, *Notomastus latericeus* 및 *Scoloplos amiger*의 우점도가 높게 나타났던 반면, 가을철인 1999년 11월에는 *Capitella capitata*와 *Paraprionospio pinnata*의 출현 빈도가 상대적으로 높게 나타났는데 이 2종은 전 계절에 걸쳐 비교적 높은 풍도를 나타내는 종이였다. *Goniada* sp.와 *Notomastus latericeus*, *Capitella capitata* 및 *Aglaophamus sinensis*는 겨울철 (2000년 2월)에 이어 봄철 (5월)에도 높은 출현 밀도를 보였고, 5월에는 이들과 함께 *Scoloplos amiger*, *Cossura* sp. 및 *Dasybranchus cauducus*의 출현빈도가 높았다.

#### 저서다모류 군집 구조

22종의 주요 우점 다모류의 계절에 따른 정점별 출현빈도에 기초한 정점별 (q-mode) 집괴분석 결과 진주만은 시·공간적으로 4개의 비교적 뚜렷한 정점군으로 구분할 수 있었다 (Fig. 5). 정점군 A는 가을 (1999년 11월)과 겨울 (2000년 2월)에 채집된 대부분 정점들과 봄철 (5월)에 남부 내만 일부에서 채집된 정점들 (정점 1, 2, 3, 4, 5, 7) 및 여름철 (8월)에 만 서부와 남부에 걸친 패류양식장이 위치한 정점과 북쪽에 위치한 정점들을 포함하였는

데, 이 정점군은 계절별로 가장 많은 조사정점을 포함하고 있어 조사수역의 다모류 군집을 대표할 수 있는 정점군으로 나타났다. 정점군 B는 봄철에 남부 내만 일부 정점 (정점군 A)을 제외한 전 조사해역의 광범위한 정점들을 포함하고 있으며, 정점군 C는 11월 이후 동북부 수역에서 채집된 정점들 (정점 21, 22, 23)로 구성되었다. 정점군 D는 창선도와 사천시 사이 대방수로 근처에 위치한 정점들 (정점 11, 12, 17, 18, 22)로 이루어졌다.

종간 (r-mode) 집괴분석 결과 진주만은 크게 4개의 다모류 군집에 의해서 특징지어질 수 있음을 나타내었다 (Fig. 6). 군집 1은 퇴적물 속에 서관을 만드는 내서성 다모류 (tube-dwelling polychaetes)인 Maldanidae과의 *Asychis biceps*, *Clymenella koellikeri*, *Maldanella harai*, *Notoproctus oculatus* 및 Orbiniidae과의 *Haploscoloplos elongatus* 등 5종을 포함하였는데, 이 종들은 8월에 주로 출현하였으며 정점군 D에서 높은 출현빈도를 나타내는 종들로 구성되었다. 군집 2는 5월에 높은 출현빈도를 나타내었던 *Paraprionospio pinnata*, *Glycera chirori*, *Dasybranchus cauducus*, *Telepsavus costarum*, *Cossura* sp., *Poecilochaetus johnsoni*, *Chaetozone spinosa*, *Terebellides stroemii* 및 *Sternaspis scutata* 등 9종을 포함하는데, 이들은 군집 1과 함께 계절변동의 가장 대표적인 종들을 나타내었다. 군집 3은 *Goniada* sp., *Aglaophamus sinensis*, *Notomastus latericeus* 및 *Capitella capitata* 등으로 구성되었는데, 이들은 계절에 관계없이 꾸준한 출현을 보인 종들로 정점군 A에서 비교적 높은 서식밀도를 나타내는 종들이다. 군집 4는 전 조사기간을 통해 가장 높은 출현 빈도를 보였던 Maldanidae과의 *Maldane cristata*와 *Praxillella affinis*를 포함하였는데 이 종들은 니질성 서관 (tube)속에 살며, 크기가 비교적 큰 종들로 정점군 C와 D에서 가장 우점하는 종들이었다.

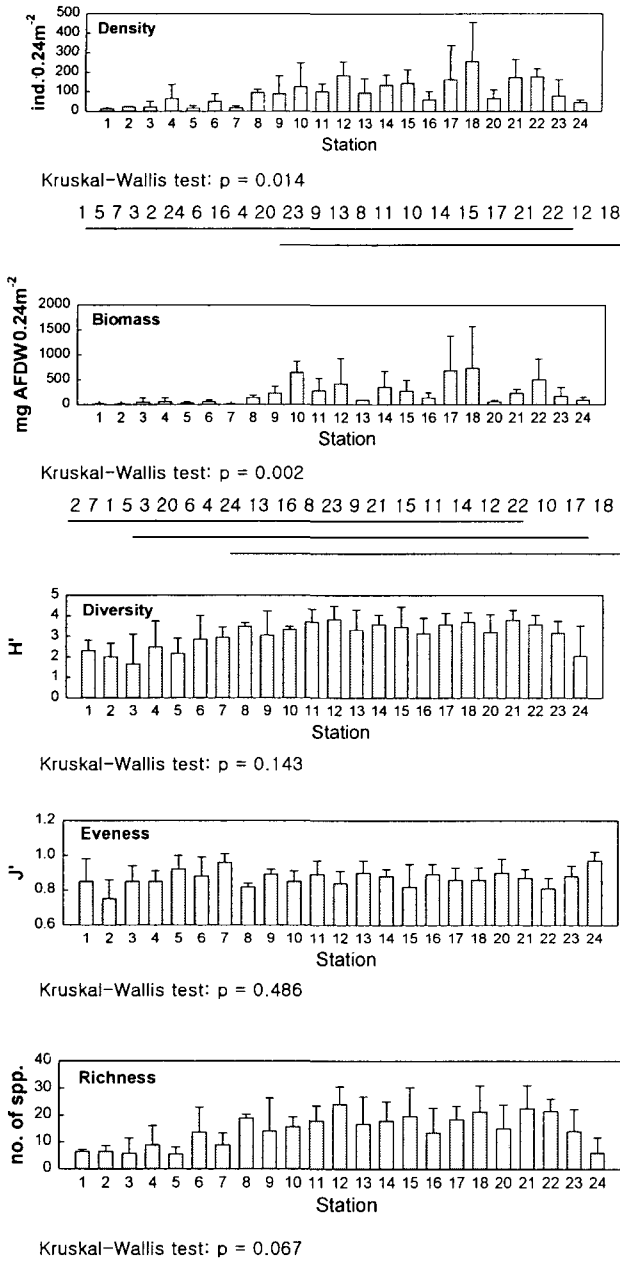


Fig. 4. Mean values (+SD) of density, biomass, diversity, evenness and richness (no. of spp., number of species) of polychaetous fauna at the sampling stations during the study period. The horizontal bars represent the multiple comparisons on the basis of the existence of significant differences by the Kruskal-Wallis test ( $p < 0.05$ ), showing the stations which demonstrate similarity.

1999년 8월과 2000년 2월 우점 다모류의 정점별 출현빈도에 기초한 주요인 분석 (Principal Component Analysis) 결과, 측정된 전체 종 출현 빈도 자료의 58% (8월)와 51% (2월)를 각각 설명하는 2개의 주요인에 의해 정점군을 구분할 수 있었다 (Fig. 7). 8월의 경우, 주요인 I (성분축 I)에는 *Maldane cristata*, *Praxillella*

Table 3. Total density of the 22 most dominant polychaete species in the present study. Species are ranked by total abundance. Values in parenthesis represent the percentage of each species in overall polychaetous density

Species	Aug.	Nov.	Feb.	May	Total
	1999		2000		
1. <i>Maldane cristata</i> (Treadwell, 1923)	428	134	85	212	859(11.5)
2. <i>Lumbrineris</i> sp.	104	38	231	130	503(6.7)
3. <i>Praxillella affinis</i> (Sars, 1872)	262	48	41	103	454(6.1)
4. <i>Notomastus latericeus</i> Sars, 1851	116	36	100	183	435(5.8)
5. <i>Goniada</i> sp.	4	42	113	224	383(5.1)
6. <i>Capitella capitata</i> Eisig, 1887	30	72	60	164	326(4.3)
7. <i>Scoloplos amiger</i> (Müller, 1776)	110	8	3	146	267(3.6)
8. <i>Sternaspis scutata</i> (Ranzani, 1807)	86	24	24	93	227(3.0)
9. <i>Asychis biceps</i> (Sars, 1861)	162	4	11	38	204(2.7)
10. <i>Prionospio pinnata</i> Ehlers, 1901	4	68	33	83	188(2.5)
11. <i>Aglaophamus sinensis</i> Fauvel, 1932	12	16	72	82	182(2.4)
12. <i>Dasybranchus cauducus</i> Grube, 1846	14	16	5	127	162(2.2)
13. <i>Clymenella koellikeri</i> (Mcintosh, 1885)	140	-	20	-	160(2.1)
14. <i>Maldanella harai</i> (Izuka, 1902)	58	32	-	65	155(2.1)
15. <i>Cossura</i> sp.	-	-	11	137	148(2.0)
16. <i>Terebellides stroemii</i> Sars, 1835	20	20	5	88	133(1.8)
17. <i>Glycera chirori</i> Izuka, 1912	38	14	32	46	130(1.7)
18. <i>Notoproctus oculatus</i> Arwidsson, 1907	112	10	3	-	125(1.7)
19. <i>Haploscoloplos elongatus</i> (Johnson, 1901)	66	-	16	26	92(1.2)
20. <i>Poecilochaetus johnsoni</i> Hartman, 1939	6	-	31	51	88(1.2)
21. <i>Chaetozone spinosa</i> Moore, 1903	30	8	11	30	79(1.1)
22. <i>Telesavus costarum</i> (Claparede, 1870)	26	4	5	44	79(1.1)

*affinis*, *Asychis biceps*, *Clymenella koellikeri*, *Maldanella harai*, *Notoproctus oculatus* 등 집괴분석에서 나타난 군집 1과 4에 해당하는 종들이 높은 요인 적재값을 나타내었고, 주요인 II (성분축 II)에는 *Lumbrineris* sp.와 함께 *Chaetozone spinosa*, *Terebellides stroemii*, *Poecilochaetus johnsoni* 등 집괴분석 군집 2에 속하는 종들이 높은 요인 적재값을 보였다. 2월의 경우, 주요인 I (성분축 I)에는 일부 종을 제외한 대부분의 우점 다모류들이 높은 요인 적재값을 보였고, 주요인 II (성분축 II)에는 *Cossura* sp., *Sternaspis scutata*, *Poecilochaetus johnsoni*, *Glycera chirori* 등 집괴분석 군집 2에 속하는 종들이 높은 요인 적재값을 보였다. 각 정점의 요인 점수 (factor score)는 두 주요인 분석의 경우 모두 피조개 양식장이 위치한 남부 내만역의 정점들과 북부의 저염분이 나타나는 정점들 (23, 24)이 대체로 좌표상의 음 (-)의 위치를 차지하여 나머지 정점들과 뚜렷이 구분되었다. 이와 같은 정점간의 차이는 피조개 양식장과 비양식 수역 사이에 저서다모류 군집의 변화를 시사해 준다.

주요인들에 대하여 각 정점들이 갖는 요인 점수와 환경 변수 사이의 상관관계분석 결과를 Table 4에 나타내었다. 1999년 8월과 2000년 2월 두 경우 모두 주요인 I은 저층수의 용존산소와 유의한 ( $0.01 < p < 0.05$ ) 양의 상관관계를 나타내었고, 산화환원성 황화물 농도와 유의한 ( $0.01 < p < 0.05$ ) 음의 상관관계를 보였다. 2월의 경우에는 또한 주요인 I이 저층수의 수온과도 유의한 ( $0.001 < p < 0.01$ )

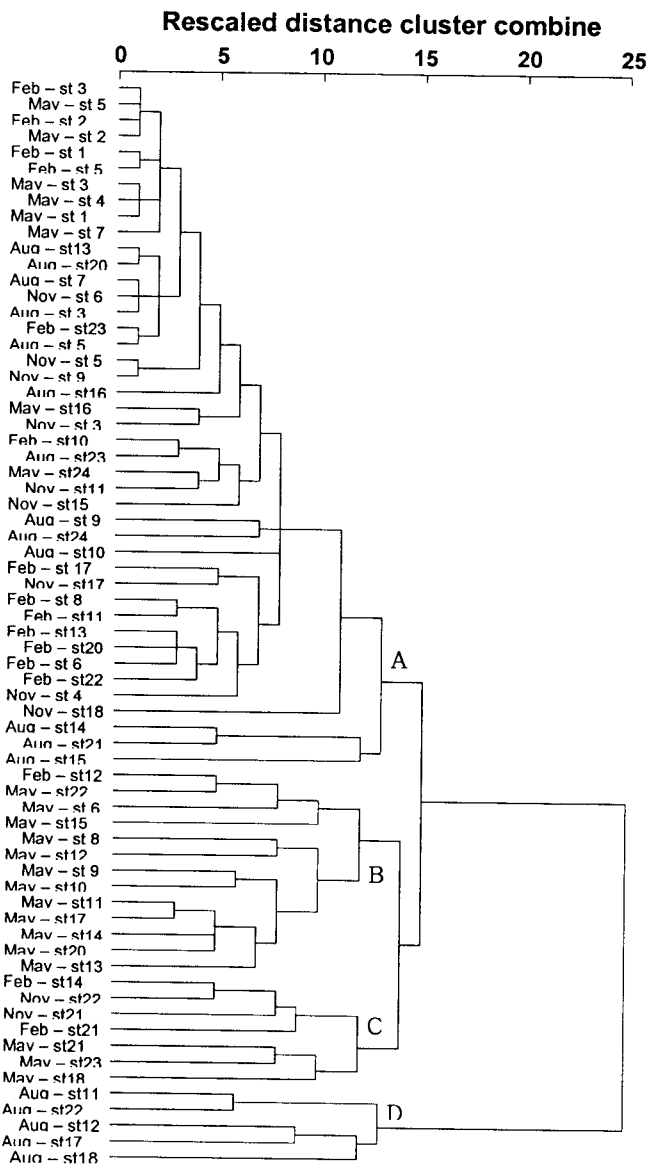


Fig. 5. Dendrogram (UPGMA) of stations (q-mode) derived from abundances of 22 polychaete species.

양의 상관관계를 나타내었고, 퇴적물 입도 ( $\phi$ )와는 유의한 ( $0.001 < p < 0.01$ ) 음의 상관관계를 보였다. 그러나, 주요인 II와 본 조사에서 측정된 환경 변수 사이에 유의한 상관성은 나타나지 않았다.

고찰

조사기간 동안 진주만에서는 총 132종의 저서 다모류가 출현하였는데, 채집빈도와 채집량에 따라 다소 차이를 보일 수 있지만 이와 같은 출현 종수는 남해안 다른 내만 해역들인 진해만 서부(52종, Lim et al., 1992), 진해-마산만(88종, Lim and Hong, 1997), 마산만(16종, Hong and Lee, 1983), 삼천포 근해역(50종, Shin and Koh, 1993), 남해 앵강만(90종, Lim et al., 1999), 광

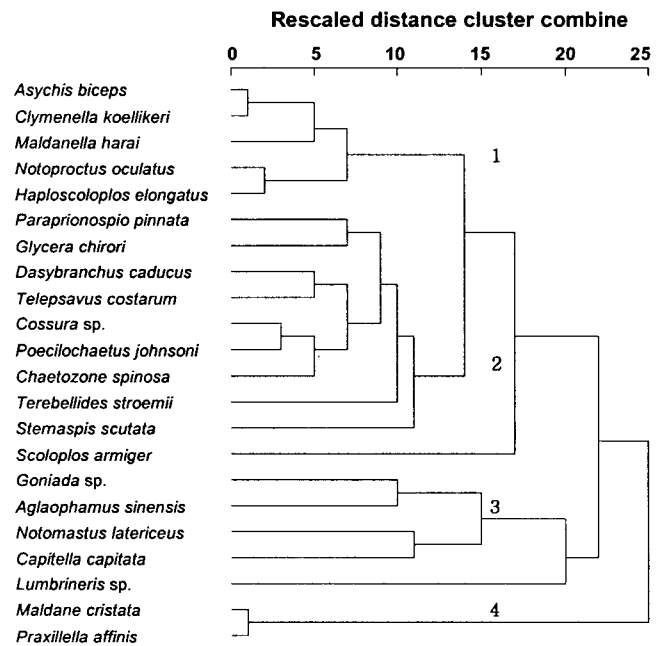


Fig. 6. Dendrogram of 22 polychaete species (r-mode) from their abundance distribution at stations.

양만(70종, Choi and Koh, 1984; 79종, Shin and Koh, 1990), 여자만(72종, Lim et al., 1991) 및 득량만(52종, Ma et al., 1995)에 비하여 훨씬 다양하다는 것을 나타낸다. 다모류의 밀도를  $m^2$ 당 출현밀도로 환산했을 때  $321 \sim 494 \text{ ind.} \cdot m^{-2}$ 의 범위로 진해-마산만의 825 및 앵강만의  $874 \text{ ind.} \cdot m^{-2}$  보다는 낮은 수준이었지만, 인접한 광양만의  $490 \sim 520 \text{ ind.} \cdot m^{-2}$ 과는 유사하였고 진해만 서부나 여자만, 득량만에 비해서는 유사하거나 다소 높은 수준으로 나타났다. 한편, 전체 저서동물 중 다모류가 차지하는 비율은 약 80% 내외로서 부영양도가 높은 곳인 부산연안의 약 90% (Lee, 1976) 보다는 낮지만 남해안의 다른 내만 해역에 비하여는 다모류의 밀도가 대단히 우점하는 양상을 보였다.

본 연구에서 진주만의 저서 다모류 분포는 출현밀도(개체수와 생물량), 다양도, 균등도 및 종조성에 있어서 뚜렷한 시·공간 변동 특성을 나타내었다. 연구 해역에서 다모류의 단위면적 당 평균 출현개체수는 계절별로 뚜렷한 차이를 나타내지 않았으나 생체량은 여름(1999년 8월)에 가장 높았던 반면, 겨울(2000년 2월) 이후에 큰 감소를 기록하였다. 다양도와 종풍도는 여름철에 가장 낮았던 반면, 가을(1999년 11월)에서 봄(2000년 5월) 사이에는 3계절이 유사한 평균값으로 여름철에 비해 상당히 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 겨울과 봄철에 다양도와 종풍도가 다른 계절에 비해 높고 출현 개체수는 다른 계절과 유사함에도 불구하고 생체량은 이 계절에 오히려 낮다는 것을 나타낸다. 이것은 계절에 따른 종조성의 변동에 따른 다모류 군집 차이를 반영하는 것으로 보인다. 2000년 2월 겨울철의 다모류 군집 변동은 연구 수역 퇴적물이 주로 점토질의 연성기질로 구성되어 있고 수심이 낮아 겨울철의 강한 파도나 바람에 의한 와류에 의해 안정성이 낮아진 퇴적물의 재부유와 관련될 것 같다. 2000년 2월 다모류 조성은 니질성 서관

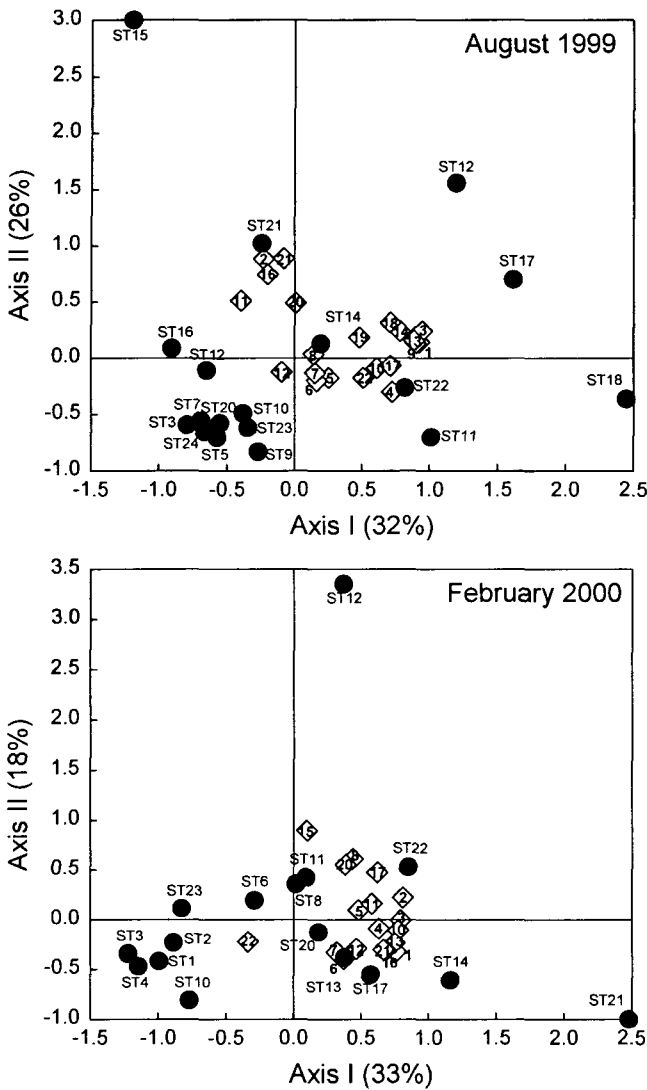


Fig. 7. Plot of the Principal Component Analysis applied over the species abundances (◇) and the sampling stations (●) in Jinju Bay, showing the stations groups formed. The numbers represent the species (see Table 3 for species legend).

속에 살며, 크기가 비교적 큰 K-선택성 Maldanidae과 종 (Pearson and Rosenberg, 1978; Dauer et al., 1992)들의 점유율이 대단히 낮았던 반면, *Lumbrineris* sp.나 *Goniada* sp.와 같은 육식성 다모류가 높은 출현빈도를 보였던 사실들이 이를 잘 반영하는 듯하다. 이와 유사한 현상들은 천해 조하대 연성 퇴적물에서 흔히 관찰되어 왔다 (Snelgrove and Butman, 1994). 봄철인 5월에는 *Maldane cristata*와 *Praxillella affinis*의 출현빈도의 회복과 함께 *Paraprionospio pinnata*, *Scoloplos amiger*, *Dasybranchus cauducus*, *Telesavus costarum*, *Cossura* sp., *Poecilochaetus johnsoni*, *Chaetozone spinosa*, *Terebellides stroemii* 및 *Sternaspis scutata* 등의 높은 가입이 나타났다. 이 종들은 진주만의 다모류 군집구조 계절변동의 주요 지표종들로 나타났는데, 5월의 출현개체수와 다

Table 4. Correlation coefficients between environmental variables and factor scores of each station obtained from the species-based (r-mode) Principal Component Analysis

Variables	August 1999		February 2000	
	Factor I	Factor II	Factor I	Factor II
Bottom waters				
Temperature	0.162	-0.293	0.703**	0.305
Salinity	-0.066	0.214	0.255	0.275
Dissolved oxygen	0.553*	-0.136	0.609*	-0.078
Sediments				
Organic matter content	-0.432	0.089	-0.217	-0.077
Acid volatile sulfide	-0.501*	0.107	-0.547*	-0.157
Organic carbon	-0.311	-0.454	0.332	-0.044
Nitrogen	-0.421	-0.316	-0.082	0.158
Grain size (φ)	-	-	-0.675**	-0.212

\* 0.01 < p < 0.05, \*\* 0.001 < p < 0.01.

양도 증가는 이들의 높은 출현 빈도에 기인하였다. 그러나, 이 종들은 일부종을 제외하면 대부분이 표층퇴적물식자인데, 이들은 소형으로 기회종 (opportunistic)의 특성을 가지기 때문에 (Pearson and Rosenberg, 1978; Grizzle, 1984; Dauer et al., 1992) 이들의 높은 출현에도 불구하고 다모류 생체량의 뚜렷한 증가로 반영되지는 않았다. 한편, 여름철에 낮은 다양도와 종풍도에도 불구하고 가장 높은 생체량을 보인 것은 계절적으로 가장 높은 출현 밀도를 나타낸 *Maldane cristata*와 *Praxillella affinis* 외에도 서관을 만드는 내서동물로 이들과 같은 Maldanidae과에 속하는 *Asychis biceps*, *Clymenella koellikeri*, *Maldanella harai* 및 *Notoproctus oculatus* 등의 높은 출현 밀도에 기인하였다. 이들의 높은 출현 밀도는 여름철에 더욱 안정된 퇴적환경을 시사하는 듯 하였다.

계절별로 가장 많은 정점을 포함하고 있어 진주만의 다모류 군집을 대표할 수 있는 정점군으로 특징지어졌던 정점군 1 (Fig. 5)에서 우점 출현하였던 다모류는 *Notomastus latericeus*, *Goniada* sp. 및 *Capitella capitata* 등이었다. 집괴분석의 결과와 함께 위에서 살펴본 바와 같이 다모류 군집의 계절변동에도 불구하고 이 종들은 *Lumbrineris* sp.와 함께 진주만의 많은 정점들에서 계절에 관계없이 계속 우점종으로 출현하였다. *Capitella capitata*와 *Notomastus latericeus* 등과 같은 Capitellidae과와 *Lumbrineris longifolia*와 같은 Lumbrineridae과의 일부 다모류 종들은 유기물의 함량이 대단히 높거나 오염이 심한 교란된 환경의 지시종으로 알려져 있는데 (Gray, 1981; Grizzle, 1984; Nakao et al., 1989; Weston, 1990; Tsutsumi et al., 1991; Hornig and Taghon, 1999), 조사기간 동안 이들의 연중 우점 출현은 연구 수역 퇴적물의 유기오염이 지속적으로 일어나고 있다는 것을 시사해 준다. 실제로 유기오염이 현저한 해역인 진해만이나 광양만에서는 *Capitella capitata*와 *Lumbrineris longifolia* 등이 우점종으로 출현하였으나 (Shin and Koh, 1990; Lim et al., 1992), 유기오염에 의한 영향이 그다지 크지 않은 득량만에서 이 종들의 출현밀도는 극히 낮게 나타났다 (Ma et al., 1995). 이와 같은 수역별 차이는 진주만을 포함한 남해 (South sea of Korea) 동부 내만역 표층퇴적물의 유기물 함량이



남해서부 내만역들에서 보다 훨씬 높다는 사실에 의해 추론될 수 있다 (Kang et al., 1993).

진주만에서 다모류 분포는 계절변동과 함께 공간적으로도 비교적 뚜렷한 차이를 나타내었는데, 다모류 군집의 정점간 차이는 크게 남해도와 창선도 사이의 남부에 위치한 피조개 양식장 수역을 사천시와 하동군 사이의 비양식 수역과 구분하는 경향이였다. 남부의 피조개 양식장 수역은 상대적으로 낮은 출현 개체수와 생체량을 나타내었는데, 다양도와 종풍도 역시 상대적으로 낮은 경향을 보여 *Capitella capitata*, *Goniada* sp. 및 *Aglaophamus sinensis*와 같은 몇몇 종이 강한 우점을 나타내었다. 그러나, 조사기간 동안 피조개 양식장 수역에서 퇴적물 입도가 다소 세립하고 황화물 농도가 상대적으로 높게 나타나는 특징을 보였지만, 퇴적물 중 유기물 함량과 유기탄소의 특징적인 공간분포 양상은 나타나지 않아 진주만의 살포식 패류 양식장 퇴적물에서 만내 주변 수역에 비하여 더욱 높은 유기물 축적이 일어난다는 결론을 내리기는 어렵다. 본 연구에서 나타난 퇴적물의 유기물함량과 유기탄소 함량이 남해 (South Sea of Korea) 동부의 다른 내만역과 유사하고 남해서부 내만역들에 비해서 상당히 높은 수준이라는 것은 오히려 유기물의 축적이 만 전체에서 일어나고 있는 현상이라는 것을 시사한다. 실제로, *Capitella capitata*와 같은 유기오염 지시종이 양식장 수역 뿐만 아니라 만 전체적으로 높은 출현빈도를 나타내었다. 이것은 결국 진주만에서 퇴적물의 유기물 축적이, 만 자체내 서식생물의 생물퇴적 (biodeposition)에 의한 유기물 부하에 더하여 주변 육상으로부터 다량의 영양물질 유입 증가에 따른 해역의 생산력 증가에서 오는 부영양화에 크게 기인할 수 있다는 것을 의미한다.

저서동물의 서식밀도와 종의 분포에 영향을 미치는 환경요인으로는 퇴적환경 (Cassie and Michael, 1968; Snelgrove and Butman, 1994)과 함께 수온 (Buchanan et al., 1978), 염분 (McLusky, 1989) 및 저층수의 용존산소 (Harper et al., 1981; Gaston 1985; Hong, 1987)와 같은 다양한 요인들이 있다. 앞에서 이미 토의한 바와 같이 퇴적환경 변수 중 유기물 함량, 유기탄소 및 질소 함량은 만 전체적으로 비교적 균일한 분포를 보여 저서동물의 공간 분포를 나타내는 주요인 분석의 어떤 주성분과도 상관성을 나타내지 않았다. 퇴적물의 입도와 유사하게, 황화물 농도와 주성분 I 사이의 약한 음의 상관관계는 남부 수역에서 상대적으로 높은 황화물 농도가 남부 수역에서의 낮은 다모류 밀도와 다양도에 영향을 미치는 중요한 변수가 될 수 있다는 것을 나타내었지만, 본 연구에서 나타난 황화물 함량은 전체적으로 상당히 낮은 수준이어서, 다모류의 공간 분포를 결정하는 요인으로 고려하기는 어려울 것으로 판단되었다. 수온의 변동이 저서동물의 계절변동에 중요한 요인이 된다는 것은 본 연구에서도 분명한 듯하다. 그러나, 수온이 다모류의 공간분포와 높은 상관성을 가진다는 결과가 2000년 2월의 주성분 분석에서 나타났지만 (Table 4), 전체 조사정점 평균수온에 대한 분산자료 (Table 1)에서 볼 수 있듯이 같은 시기에 정점간의 온도차이는 대단히 낮아 수온의 분포로부터 다모류의 공간 분포를 설명하기는 어렵다. 저층수의 용존산소 분포 역시 다모류 분포를 설명하는 주성분과의 약한 상관성에도 불구하고

고, 수온의 경우와 유사하게 특정 조사시기에 다모류 분포를 설명할 수 있을 정도의 뚜렷한 정점간 차이는 나타나지 않았다. 그러나, 만의 북부 일부 정점들 (정점 23과 24)은 낮은 염분과 함께 모래 퇴적물에 의해서 다른 정점들과 뚜렷이 구분되고 (Fig. 3), 또한 대단히 낮은 다모류 밀도와 종풍도를 보여 남강 방류수의 영향을 크게 받고 있다는 것을 나타내었지만, 연구 수역의 대부분 수역을 포함하는 그 외 나머지 정점들에서 염분의 정점에 따른 차이는 뚜렷하지 않았다. 따라서, 이와 같은 결과들은 북부의 저염분을 나타내는 극히 일부 정점의 다모류 군집에 대한 염분의 효과를 제외하고는 나머지 수역에서 측정된 한 환경 변수로부터 다모류 군집의 공간 변동을 효과적으로 설명하기는 어렵다는 것을 나타내었다.

해역의 환경상태 평가는 *Capitella capitata*와 같은 환경변화의 특정 지시종의 출현유·무나 빈도를 이용할 수도 있겠으나, 전체 군집의 반응을 조사하는 것이 더욱 실질적일 것이다. 군집구조의 공간적 차이 비교에는 다양도, 균등도 및 종풍도와 같은 일변량 분석, 그래프를 이용한 시각적 분석 및 다변량 통계 분석 등이 유용하게 활용될 수 있으나, 이 중 조사정점들이 얼마나 유사한 종 조성을 가지는지에 대한 정보는 다변량 통계 분석으로부터 보다 유효하게 추출해 낼 수 있다. 본 연구에서 주성분분석의 결과는 만내 다른 수역에서 우점하는 K-선택성의 Maldanidae과 다모류는 물론 r-선택성의 소형 기회종으로 여겨지는 *Chaetozone spinosa*, *Terebellides stroemii*, *Poecilochaetus johnsoni*, *Cossura* sp., *Sternaspis scutata*, *Poecilochaetus johnsoni* 및 *Glycera chirori*, *Lumbrineris* sp. 등의 출현빈도가 피조개 양식장 수역에서는 대단히 낮아 남부의 피조개 양식장 수역의 저서 다모류 군집이 인근의 나머지 정점군들의 군집과 뚜렷이 구분된다는 것을 잘 보여주었다. 이와 같은 결과는 결국 이 수역의 낮은 다모류 밀도와 다양도가 이들의 낮은 출현빈도에 기인하고 있다는 것을 나타낸다.

남부 수역에서 Maldanidae과 다모류가 극히 낮은 출현빈도를 나타내는 현상을 설명하는 가장 높은 가능성으로 피조개 양식장에서 봄철에 일어나는 퇴적물의 인위적인 물리적 교란작용을 들 수 있다. 양식피조개는 봄철에 갈고리형의 형망을 퇴적물 속에 잠입시켜 끌어 수확 (채취)하게 되는데, 이때 일어나는 퇴적물의 강한 교란은 서관 (tube)을 만들어 서식하는 Maldanidae과 다모류의 가능한 서식지를 파괴할 것이다. 한편, 연구 수역에서 봄철에 전체적으로 소형 기회종의 높은 출현에도 불구하고 남부의 양식장 수역에서 이들의 출현을 관찰할 수 없었던 것은 이와 같은 퇴적 환경의 교란이 이 기회종들의 군집형성 (colonization)을 불가능하게 만든다는 것을 시사해 준다. 일반적으로 항만이나 수로 준설과 같은 대규모 퇴적물 교란은 저서동물 군집의 큰 변동을 일으켜 단기적으로는 r-선택성 소형 기회종의 밀도가 빠르게 증가하고 (Lastra et al., 1991), 시간이 경과하면서 체배열이 일어나는 것으로 알려져 있다 (de Grave and Whitaker, 1999). 그러나, 봄철에 이어 여름철에도 남부 수역에서 이들의 밀도가 뚜렷이 증가하지 않는 것은 이들 기회종은 물론 Maldanidae과 다모류의 지속적인 colonization이 방해받고 있다는 것을 나타낸다.

피조개 양식장이 위치한 남부 수역으로 갈수록 점토 함량이

높아 퇴적물은 더욱 세립해지는 경향이 나타났는데, 남부 수역에서 저서 다모류의 colonization 저해는 이와 같은 더욱 불안정한 퇴적물 조성 특성에 영향을 받을 수도 있다. 진주만에서는 봄철에 대형 피조개의 수확에 이어서 소형 치패를 살포하게 되는데, 살포 1개월 이내에 소형 치패 중 약 40%가 사망하고 2개월 후에는 초기 살포 치패의 70% 이상이 사망한다는 연구 결과가 이것을 설명할 수 있을 것 같다 (MAF, 1988). 또한, 본 연구의 정점별 다모류 출현빈도를 이용한 주성분분석에서 저서 다모류의 공간 분포를 가장 잘 설명하는 주요인 (성분)에 대한 각 정점의 요인점수와 퇴적물 입도값 ( $\Phi$ ) 사이의 유의한 음의 상관관계 (Table 4)가 더욱 세립한 점토질 퇴적물이 나타나는 정점들에서 이 종들의 출현 빈도가 대단히 낮다는 것을 잘 보여준다. 퇴적물의 강한 물리적 교란은 물질의 재부유와 그에 따른 재침강을 초래하여 오히려 주변수역의 저서동물 밀도를 높이는 효과를 발휘하는 수도 있는 것으로 보고되고 있다 (Poiner and Kennedy, 1984).

## 요 약

피조개 양식장으로 이용되고 있는 남해 연안의 진주만에서 저서 다모류 분포를 밝히기 위하여 van Veen grab 채취기를 이용하여 1999년 8월부터 2000년 5월 사이에 계절별로 4회에 걸쳐 저서동물을 채집하였다. 조사기간 중 총 132종의 저서 다모류가 채집되어, 출현한 전체 저서동물 개체수 중 약 80%를 차지하였다. 다모류의 평균 출현개체수는 계절별로 뚜렷한 차이를 나타내지 않았으나 생체량은 여름 (8월)에 가장 높았던 반면, 종 다양도와 풍도는 여름철에 가장 낮았다. 이것은 계절에 따른 종조성 변동에 의한 다모류 군집 차이를 반영하는 것으로, 이와 같은 계절변동은 봄철에 소형의 몇몇 r-선택성 기회종과 여름철에 서판을 만드는 Maldanidae과 종의 출현에 기인하였다. 한편, *Capitella capitata*, *Notomastus latericeus* 및 *Lumbrineris* sp.와 같이 유기물이 풍부한 해역에서 흔히 출현하는 종들이 만 전체적으로 연중 높은 밀도를 나타내었다. 남부의 피조개 양식장 수역은 상대적으로 낮은 개체수와 생체량을 나타내었는데, 종 다양도와 풍도 역시 상대적으로 낮은 경향을 보였다. 주성분 분석의 결과는 만내 다른 수역에서 우점하는 Maldanidae과는 물론 소형 기회종의 출현 빈도가 피조개 양식장 수역에서 대단히 낮아 피조개 양식장 수역 저서 다모류 군집이 인근 나머지 정점군들의 군집과 뚜렷이 구분된다는 것을 잘 보여주었다. 다모류 군집의 공간변동은 피조개 양식장 수역 퇴적물의 더욱 세립한 입도 조성과 높은 황화물 농도 및 북부 일부 정점의 낮은 염분 등에 의해서 부분적으로 설명될 수 있었지만, 다른 환경 변수에서 이와 같은 차이는 뚜렷하지 않았다. 진주만에서 다모류 군집의 공간분포는 오히려 봄철에 피조개 채취를 위한 퇴적물의 물리적 교란에 의해 크게 영향을 받는 듯 하였다.

## 감사의 글

본 연구는 국립수산진흥원 경상연구과제인 “어장환경 평가연

구”의 일부로 수행되었습니다. 현장에서 시료의 채집에 도움을 준 김 형철 군에게 심심한 감사를 드립니다. 본 원고에 대한 익명의 세분 심사위원의 세심한 심사와 지적들은 논문의 질을 높일 수 있는 좋은 기회가 되었기에 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- Buchanan, J.B., M. Sheader and P.F. Kingston. 1978. Sources of variability in the benthic macrofauna off the south northumberland coast, 1971~1976. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 58, 191~209.
- Cassie, R.M. and A.D. Michael. 1968. Fauna and sediments of an intertidal mud flat: a multivariate analysis. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 2, 1~23.
- Choi, J.W. and C.H. Koh. 1984. A study on the polychaete community in Kwangyang Bay, southern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19, 153~162 (in Korean).
- Daur, D.M., A.J. Rodi Jr. and J.A. Ransinghe. 1992. Effects of low dissolved oxygen events on the macrobenthos of the lower Chesapeake Bay. *Estuaries*, 15, 384~391.
- Dankers, N. and D.R. Zuidema. 1995. The role of the mussel (*Mytilus edulis* L.) and mussel culture in the Dutch Wadden Sea. *Estuaries*, 18, 71~80.
- de Grave, S. and A. Whitaker. 1999. Benthic community re-adjustment following dredging of a muddy-marl matrix. *Mar. Poll. Bull.*, 38, 102~108.
- Defur, P.L. and D.N. Rader. 1995. Aquaculture in estuaries: feast or famine. *Estuaries*, 18, 2~9.
- Drake, P. and A.M. Arias. 1997. The effect of aquaculture practices on the benthic macroinvertebrate community of a lagoon system in the Bay of Cadiz (Southwestern Spain). *Estuaries*, 20, 677~688.
- Feuillet-Girard, M., M. Héral, M.-F. Abrioux and M. Fontugne. 1994. Dissolved and particulate organic carbon in the water column and at the sediment-water interface in the estuarine bay of Marennes-Oléron: influence of oyster farming. *Oceanol. Acta*, 17, 271~284.
- Gambi, M.C. and A. Giangrande. 1986. Distribution of soft-bottom polychaetes in two coastal areas of the Tyrrhenian Sea (Italy): structural analysis. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 23, 847~862.
- Gaston, G.R. 1985. Effects of hypoxia on macrobenthos of the inner shelf off Cameron, Louisiana. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 20, 603~613.
- Gray, J.S. 1981. *The Ecology of Marine Sediments. An Introduction to Structure and Function of Benthic Communities.* Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K. 185pp.
- Grizzle, R.E. 1984. Pollution indicator species of macrobenthos in a coastal lagoon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 18, 191~200.
- Hall, S.J. 1994. Physical disturbance and marine benthic communities: life in unconsolidated sediments. *Ocean. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 32, 179~239.
- Harper, D.E., L.D. McKinney, R.B. Salzer and R.J. Case. 1981. The occurrence of hypoxic bottom water off the upper Texas coast and its effects on the benthic biota. *Contrib. Mar. Sci.*, 24, 53~79.
- Hastings, R.W. and D.R. Heinle. 1995. The effects of aquaculture in

- estuarine environments: introduction to the dedicated issue. *Estuaries*, 18, 1.
- Hong, J.S. 1987. Summer oxygen deficiency and benthic biomass in the Chinhae Bay System, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 22, 246~256.
- Hong, J.S. and J.L. Lee. 1983. Effects on pollution of the benthic macrofauna in Masan Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 18, 169~179.
- Horng, C.Y. and G.L. Taghon. 1999. Effects of contaminated sediments on particle size selection by the polychaete *Capitella* sp. I. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 242, 41~57.
- Jumars, P.A. 1975. Environmental grain and polychaete species diversity in a bathyal benthic community. *Mar. Biol.*, 30, 253~266.
- Kang, C.-K., P.-Y. Lee, J.-S. Park and P.-Y. Kim. 1993. On the distribution of organic matter in the nearshore surface sediment of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 26, 557~566.
- Lastra, M., J.M. Parada, A. Sanchez and J. Mora. 1991. Temporal evolution of an *Abra alba* community affected by harbor dredging activities in Santander Bay (northern Spain). *Thalassas*, 9, 87~97.
- Lee, J.H. 1976. A study on the benthic fauna along the Busan coast. *Publ. Inst. Nat. Fish. Univ. of Busan*, Busan, 9, 49~70.
- Lee, J.H., B.S. Koh and H.S. Park. 1997. Marine environmental assessment based on the benthic macroinfaunal compositions in the coastal area of Incheon, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, 30, 771~781 (in Korean).
- Lim, H.S. and J.G. Je, J.W. Choi and J.H. Lee. 1991. Distribution pattern of macrozoobenthos at Yoja Bay in summer. *Ocean Res.*, 13, 31~45 (in Korean).
- Lim, H.S. and J.S. Hong. 1997. Ecology of the macrozoobenthos in Chinhae Bay, Korea. 3. Community structure. *J. Korean Fish. Soc.*, 30, 175~187 (in Korean).
- Lim, H.S., H.S. Park, J.W. Choi and J.G. Je. 1999. Macrobenthic community of the subtidal soft bottom of Aenggang Bay in the southern coast of Korea. 『The Sea』 *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 4, 80~92 (in Korean).
- Lim, H.S., J.W. Choi, J.G. Je and J.H. Lee. 1992. Distribution pattern of macrozoobenthos at the farming ground in the western part of Chinhae Bay, Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 25, 115~132 (in Korean).
- Ma, C.W., S.Y. Hong and H.S. Lim. 1995. Macrobenthic fauna of Deukryang Bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, 28, 503~516 (in Korean).
- MAF (Ministry of Agriculture and Forestry). 1998. Studies on the Effect of Red Clay on Arkshell (*Scapharca broughtonii*) Culturing Grounds. Seoul, 199pp (in Korean).
- McLusky, D.S. 1989. *The Estuarine Ecosystem*. Chapman and Hall Inc., New York, 215pp.
- Nakao, S., S. Goshima, H. Nomura, H. Yamaguchi and S. Yoshitake. 1989. Relationships between macrobenthos communities and sediment types in Mutsu Bay. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 40, 159~168 (in Japanese).
- Park, H.S., J.W. Choi and H.G. Lee. 2000. Community structure of macrobenthic fauna under marine fish culture cages near Tongyong, southern coast of Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, 33, 1~8 (in Korean).
- Pearson, T.H. and R. Rosenberg. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Ocean. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16, 229~311.
- Pielou, E.M. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collection. *J. Theoret. Biol.*, 13, 131~144.
- Pires, A.M.S. 1992. structure and dynamics of benthic megafauna on the continental shelf offshore of Ubatuba, southeast Brazil. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 86, 63~76.
- Poiner, I.R. and R. Kennedy. 1984. Complex pattern of change in the macrobenthos of a large sandbank following dredging. I. Community analysis. *Mar. Biol.*, 78, 335~352.
- Rhoads, D.C. 1974. Organism-sediment relations on the muddy sea floor. *Ocean. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 12, 263~300.
- Shannon, C.E. and W. Wiener. 1963. *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. of Illinois Press, Urbana, 125pp.
- Shepard, E.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *J. Sed. Pet.*, 24, 151~158.
- Shin, H.C. and C.H. Koh. 1990. Temporal and Spatial variation of polychaete community in Kwangyang Bay, southern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 25, 205~216 (in Korean).
- Shin, H.C. and C.H. Koh. 1993. Polychaetous community in the coastal zone off Samchunpo, South Sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 28, 305~312 (in Korean).
- Snelgrove, P.V.R. and C.A. Butman. 1994. Animal-sediment relationships revisited: cause versus effect. *Oceanogr. Mar. Biol.*, 32, 111~177.
- Tsutsumi, H., T. Kikuchi, M. Tanaka, T. Higashi, K. Imasaka and M. Miyazaki. 1991. Benthic faunal succession in a cove organically polluted by fish farming. *Mar. Poll. Bull.*, 23, 233~238.
- Warwick, R.M. 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Mar. Biol.*, 92, 557~562.
- Weston, D.P. 1990. Quantitative examination of macrobenthic community changes along an organic enrichment gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 61, 233~244.
- Zar, J.H. 1984. *Biostatistical Analysis*. 2nd ed. Prentice-Hall Inc., Engle wood Cliffs, New Jersey, 718pp.

---

2001년 10월 22일 접수

2002년 1월 7일 수리