

Article

낙동강 하구역 주변 대형저서동물 군집의 공간 특성

이형곤* · 이재학 · 유옥환 · 김종관

한국해양연구원 해양생물자원연구본부
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호

Spatial Characteristics of the Macrobenthos Community Near the Nakdong River Estuary, on the Southeast Coast of Korea

Hyung-Gon Lee*, Jae-Hac Lee, Ok Hwan Yu, and Chong-Kwan Kim

Marine Living Resources Research Division, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstract : Macrobenthic fauna were collected using a van Veen grab (0.1 m²) to investigate the spatial characteristics of the macrobenthos community at 28 stations near the Nakdong River estuary, Southeast Korea, in September 2001. A total of 203 species were sampled with a mean density of 1,554 ind./m² and a biomass of 252.3 gWWt/m². Annelids were the dominant faunal group in terms of species and density, with 68 species and a mean density of 1,031 ind./m², which comprised 33.5% and 66.3% of the total benthic animals, respectively. Based on density, three polychaetes were dominant *Tharyx* sp. (420 ind./m²), *Lumbrineris longifolia* (143 ind./m²), and *Sternaspis scutata* (118 ind./m²), along with a bivalve *Theora fragilis* (129 ind./m²). On cluster analysis, the benthic community was classified into four groups based on the species composition: Group-I occurred in disturbed areas, Group-II in coastal regions, Group-III in central mariculture grounds, and Group-IV offshore. Environmental factors (mean grain size, organic carbon, and depth) were primarily correlated with the macrobenthos community structure. A benthic pollution assessment based on the macrobenthos community structure showed that Group-I and Group-II were located in a coastal area that had been severely disturbed by construction of Busan new port and various pollutants, Group-III was gradually polluted, while offshore Group-IV was the most stable.

Key words : 하구(estuary), 대형저서동물군집(macrobenthos community), 공간분포 특성(spatial characteristics), 조하대(subtidal), 낙동강(Nakdong River)

1. 서 론

하구생태계는 생태학적으로 유용수산자원의 회유경로이며 지형학적으로 외해와 육상의 영향을 동시에 받는 점이지대로서 영양염류가 풍부하고 생태학적으로 다양한 생물상의 변화를 보이는 지역이다(Day *et al.* 1989; Wolff 1983). 최근에는 연안역 개발에 따른 산업화와 도시의 팽창으로 주변에 공업단지와 상주인구가 증가하고 있으며, 이로 인한 산업폐수와 도시하수가 유입되면서 하구의 주

변 생태계에 직접적인 영향을 주고 있는 상황이다.

하구역에 서식하는 저서동물은 저서생태환경의 교란과 오염의 영향에 어느 정도 조절기능을 가지고 있지만 일시적으로 대량 유입될 경우에는 군집구조의 변화를 일으킨다. 즉 저서동물은 퇴적물내의 유기탄소량이 증가하거나 퇴적물 오염에 의한 서식처의 교란에 민감한 반응을 나타내게 된다(Gray 1979; Hartley 1982). 따라서 오염에 민감한 오염지시종(pollution indicator)을 이용하거나 저서동물 군집구조의 변화를 파악하여 조사해역의 오염의 정도를 간접적으로 평가한다(Warwick *et al.* 1987; 이 등 2003). 연구지역은 낙동강 하구역 조하대에 위치하여 지리적

*Corresponding author. E-mail : hglee@kordi.re.kr

로 많은 영양염의 유입과 조류의 흐름이 좋아 이를 이용한 각종 패류와 김양식장이 밀집되어 넓게 분포하고 있다. 하구생태계의 특성상 강으로부터 많은 양의 토사가 유입되어 사주가 형성되고, 해양의 조석과 파랑 등 물리적 요인들로 인해 퇴적상의 교란이 빈번히 발생하여 안정된 저서생태환경을 유지하지 못하고 있다. 이러한 하구역 퇴적층의 교란은 오히려 생산력이 높은 생태계를 유지시키는 중요한 역할을 하기도 한다(Rhoad *et al.* 1978).

낙동강 하구의 저서생물상에 대한 연구는 일부 분류군만을 대상으로 하거나 주로 철새도래지역을 중심으로 주변 갯벌 조간대에 서식하는 저서동물상에 대한 연구가 많이 이루어졌으며, 하구역 조하대를 대상으로 한 조사는 윤과 백(2001)의 가덕도를 중심으로 주변 해역의 저서동물 군집구조의 특성에 대한 연구 외에 거의 전무한 상태이다.

본 연구는 낙동강 하구언 건설 이후, 낙동강 하구역 조하대의 저서환경과 대형저서동물의 종조성과 분포 양상을 밝히는데 목적을 두었으며, 또한 하구역 주변으로부터 유입되는 각종 오염물질에 의한 저서생태계의 교란정도를 대형저서동물 군집구조의 공간적 특성 연구를 통하여 저서생태환경을 간접적으로 평가하고자 하였다.

2. 조사지역 개관

낙동강 유역의 연평균 강수량은 997 mm이며, 연중 강

수량의 60% 이상이 6~9월에 집중되는 특성을 보이고 있다. 지난 20년간 연평균 수온은 $17 \pm 8.9^{\circ}\text{C}$ 이며, 수온은 3월부턴 증가하기 시작하며, 겨울철 대기 온도가 1°C 이하에서도 결빙 되지 않았다(주와 하 1998). 철새도래지로 유명한 낙동강 하구는 하구역의 43.2 km가 자연생태계 보전 지역으로 지정되어 있으며, 하구의 상류에는 1983년 9월에 착공되어 1987년 11월에 완공된 길이 2.2 km의 하구언이 건설되었다. 육상의 상류로부터 많은 영양염류가 강물을 통해 유입되어 갯벌 조간대에는 철새들의 먹이원이 되는 다양한 종류의 저서동물이 서식하여 철새들의 서식지 및 휴식처 역할을 하고 있으며, 또한 운반된 토사로 인해 율속도와 같은 삼각주가 형성되었으며, 대마등, 백합등, 장자도, 진우도 등의 사주가 만들어지거나 사라지는 퇴적환경의 변화가 활발하다. 그러나 낙동강 하구언 공사 이후 공단 및 주거단지 조성 등의 이유로 450만평의 하구습지가 소실되었으며(주와 하 1998), 유입되는 토사의 감소로 갯벌 조간대의 축소와 오염물질의 증가로 생태계가 점점 변해가고 있는 상황이다. 조사해역인 낙동강 하구의 하부에 위치한 조하대의 수심은 여러 사주 등이 분포하는 연안에서 외해로 향하면서 점점 깊어지는 뚜렷한 수심구배를 보이고 있다. 외해 연안류의 물리적 작용은 하구에서 유입되는 토사가 외해로 확산되는 것을 방지하며, 연안에서 외해로 향하면서 사질에서 사니질 퇴적상의 변화를 보이는 하구역이다.

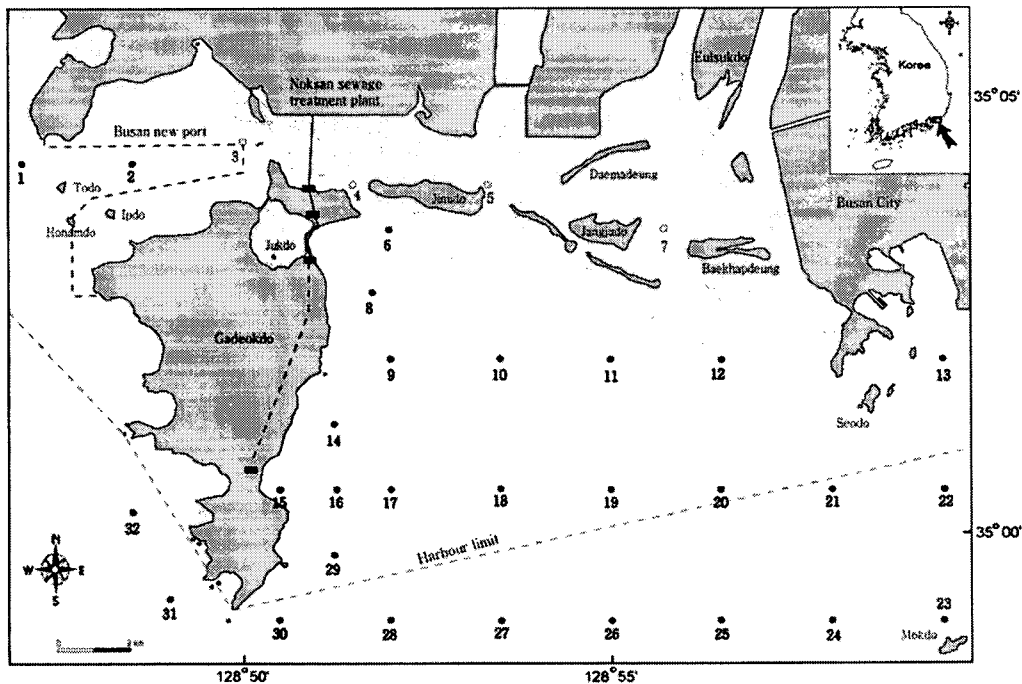


Fig. 1. Map showing the sampling stations near the Nakdong River Estuary. (A total of 28 stations (●) are sampled and 4 stations (○) are no sampled).

3. 재료 및 방법

현장조사

2001년 9월 낙동강 하구역 조하대의 대형저서동물(macrobenthos) 채집을 위해 가덕도 주변 해안으로부터 부산광역시 다대포만 남동부 외해에 이르는 해역을 일정한 등 간격으로 구분하여 총 28개의 정점을 조사하였다(Fig. 1). 저서동물 채집기인 van Veen grab(0.1 m²)을 사용하여 정점별 3회씩 반복 채집하였다. 저서생물과 함께 채집된 퇴적물은 현장에서 mesh size 1 mm의 사각형 체(60×60 cm)에 거른 후 잔존물을 해수로 희석한 10%의 중성포르말린 용액을 사용해 고정하였다. 고정된 시료는 실험실로 운반하여 잔존물로부터 생물체를 분리한 후 분류군에 따라 선별하였으며, 전자저울을 사용하여 습중량을 측정 후, 최종적으로 해부현미경 하에서 종 수준까지 동정·계수하였다. 동물 채집과 병행해 서식환경 조사를 위해 표층 1 cm 깊이의 퇴적물온도(SATO, PC-9200)를 측정 후 채취하였으며, CTD(SBE-19)를 이용 정점별(정점 24 missing) 염분과 수온을 측정하였다.

자료분석

저서생태환경 분석을 위해 평균입도(Mz), 유기탄소량(organic carbon), 퇴적물온도(sediment temperature), 저층수온(bottom water temperature), 저층염분(bottom water salinity), 수심(depth) 자료를 이용하였다. 입도분석은 채취된 시료 중 5 g을 비이커에 담아 10%의 H₂O₂로 유기물과 0.1 N-HCl로 탄산염을 제거하였다. 이 후 시료를 4φ체로 조립질과 세립질로 구분하고 4φ 이하의 사질 시료는 Rotap sieve shaker로 15분간 체질한 후 입도 등급별로 무게 백분율을 구하였으며, 4φ 이상의 니질 시료 2 g을 0.1% calgon 용액을 넣고 교반시킨 후 X-선 자동입도 분석기인 Sedigraph 5000D를 이용하여 입도무게 백분율을 Folk and Ward(1957)의 Inclusive Graphic Method에 의하여 변수를 구하였다. 퇴적물의 총 유기탄소량은 110°C에서 4시간 이상 건조된 시료의 무게를 측정 후 분쇄하고, 550°C의 전기로에서 1~2시간 가열하여 유기물을 산화시켜 진공 방냉시킨 후 무게를 측정하여 손실 차이로 환산하였으며, 각 정점별로 전체 시료에 대한 유기물의 무게 비를 백분율로 나타내었다.

대형저서동물 군집구조 특성을 파악하기 위해 각 정점별 출현 종수, 개체수, 생체량, 분류군별 구성 비율 그리고 우점종 등의 분포특성을 분석하였다. 이때 개체수 및 습중량 자료는 단위면적당(m²) 자료로 환산하여 사용하였다. 종 조성의 유사성 정도로 대형저서동물군집 구분을 위한 집괴분석은 생물자료를 대수변환 후 Bray-Curtis similarity를 이용하여 WPGMA(weighted pair group method)로

정점간의 관계를 수지도(dendrogram)로 작성하고, 종별 개체수 자료를 이용 MDS(non-metric multidimensional scaling) ordination으로 구분하였다. 구분된 군집의 유의성 검증을 위해 one-way ANOSIM(analysis of similarity) test를 실시하였다. 대형저서동물 군집구조에 영향을 미치는 환경요인 파악을 위해 개체수 자료를 이용하였으며, rare species의 영향을 줄이기 위해 3% 이상 자료를 선택하여 similarity matrix를 작성하였다. 환경자료는 환경 변수간 Pearson correlation coefficients를 이용한 Draftsman plot analysis로 변수간 상관성이 95% 이상의 자료를 제거한 후 이용하였다. 채택된 두 자료는 Spearman rank correlation coefficient method을 이용한 BVSTEP(biota-environment matching using step algorithm) test를 실시하였다(Clarke and Ainsworth 1993). 위의 분석에 사용한 프로그램은 PRIMER v 5.2.8.를 이용하였다.

대형저서동물 군집구조의 반응으로 연구지역의 저서생태계 교란정도를 분석하기 위해 지수와 그래프를 이용한 방법을 이용하였다. 지수를 이용한 방법은 종다양성 지수(Shannon and Wiener 1963), 균등도 지수(Pielou 1975)와 군집내 종의 유기물오염에 대한 반응정도는 섭식유형에 따른다는 Word(1978)의 내서동물식성지수(ITI, Infaunal Trophic Index)를 응용한 한국해양연구소(1995)의 저서오염지수(BPI, Benthic Pollution Index)를 이용하였다. 섭식 유형과 유기물에 따른 반응정도를 가지고 출현 종을 4개 그룹으로 나누어 0~100 사이의 지수로 나타낸 것으로 BPI 값이 낮을수록 유기물 오염이 심하다는 것을 의미한다. BPI level은 이 등(2003)의 구분 방법에 따랐다. 그래프 이용 방법은 군집내 종 자료를 그래프에 표현하여 값의 변화를 시각적으로 비교하는 방법으로, 교란된 군집에서 우점종이 증가한다는 이론의 k-dominance curve(Lambhead *et al.* 1983)와 우점도가 높고 다양도가 낮은 군집에서 곡선의 기울기가 커지게 되고, 특정 우점종이 없고 상대적으로 다양도가 높은 군집일수록 기울기가 완만해진다는 이론의 Rank-frequency diagram(Frontier 1985)을 이용하여 군집의 반응을 분석하였다.

$$\text{Diversity index } (H') = -\sum_i P_i \log(P_i)$$

$$\text{Evenness index } (J') = H'/\log S$$

(P_i: i번째 종이 전체 개체수에서 차지하는 비율, S: 총 출현종수)

$$\text{BPI} = [1 - \{(a * n_1 + b * n_2 + c * n_3 + d * n_4 / n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * d - 1\}] * 100$$

n₁ = 여과식자, 육식자 및 선택성잡식자의 출현 개체수
n₂ = 표층퇴적물식자, 부패물식자 및 육식자이면서 다른 섭식형태를 동시에 취하는 종의 출현 개체수

- n3 = 표층하퇴적물식자 출현 개체수
- n4 = 오염지시종 및 기회종
- a, b, c, d = 섭식군의 가중치(대개 등차수열로 부여됨)

4. 결 과

낙동강 하구역 저서환경

2001년 9월에 낙동강 하구역 조하대 대형저서동물 서식처 환경에 대한 자료를 얻기 위해 CTD(SBE-19)를 사용하여 수심별 수온과 염분을 측정 분석한 결과(Fig. 2), 조사해역의 수심은 연안과 인접한 지점은 4~9m, 중앙부는 10~20 m, 외해 지역은 25~50 m로 외해로 향하면서 깊어지는 뚜렷한 수심구배를 보였다. 정점 23은 50 m로 가장 깊고, 정점 6은 4.2 m로 가장 낮았다. 수온은 평균 24.5°C를 보였으며, 저층수온은 평균 23.4°C로 정점 6, 8, 9에서 25.2°C로 높게 나타나고, 정점 22, 23, 30에서 각각 15.6°C, 12.2°C, 18.4°C로 약 13.0°C의 수온차로 급격히 낮아지는 결과를 보였다. 또한 수심별 온도변화에 있어서도 정점

22, 23, 30의 수심 25 m 부근에서 수온이 급격히 낮아지는 수온약층 현상을 보이기도 하였다. 저층 염분의 경우 30.4~34.3 psu의 범위로 평균 31.6 psu를 나타냈다. 수온과 반대로 정점 22, 23, 30에서 각각 32.6 psu와 34.3 psu, 34.0 psu로 높게 나타났다. 퇴적물 온도와 퇴적상 및 유기탄소량을 분석한 결과(Fig. 3), 퇴적물 온도는 22.3~26.0°C의 범위로 평균 24.5°C를 나타냈으며, 정점 6에서 26.0°C로 가장 높고, 정점 24에서 22.3°C로 가장 낮았다. 평균입도는 3.1~6.5φ(5.1±1.0φ)로 coarse silt이며, 분급도는 0.99φ로 moderately sorted에 해당되었다. 연안에서 사질 구성비가 높고 외해로 갈수록 니질 함량이 증가하였다. 유기탄소량은 0.10~1.64%(0.96±0.42%)로 연안 정점에서 낮고, 외해로 향하면서 증가하였다.

대형저서동물 군집

대형저서동물의 종수, 서식밀도, 생체량

낙동강 하구역 조하대에 서식하는 대형저서동물 군집의 종조성과 분포양상을 파악하기 위해 총 28개의 조사정점

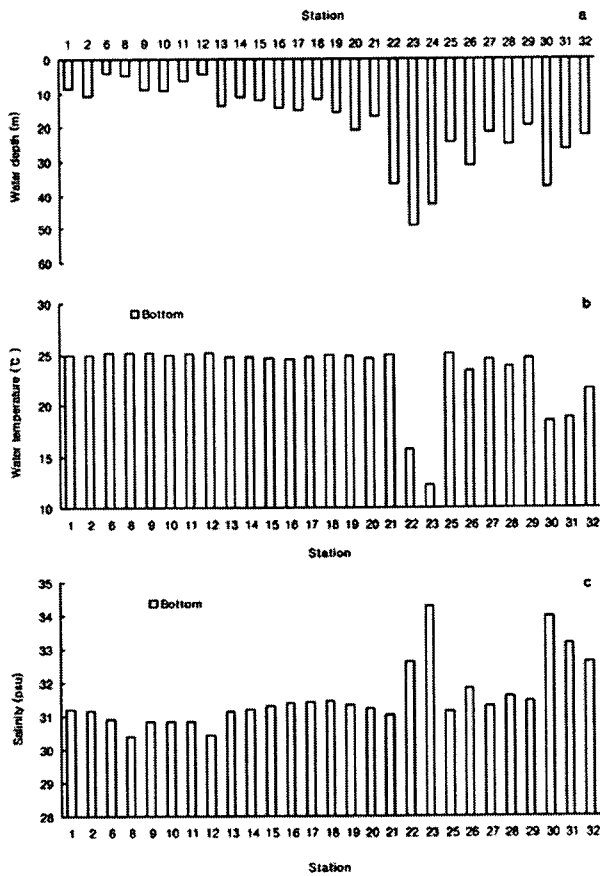


Fig. 2. Distribution of water depth (a), water temperature (b) and salinity (c) at each station near the Nakdong River Estuary.

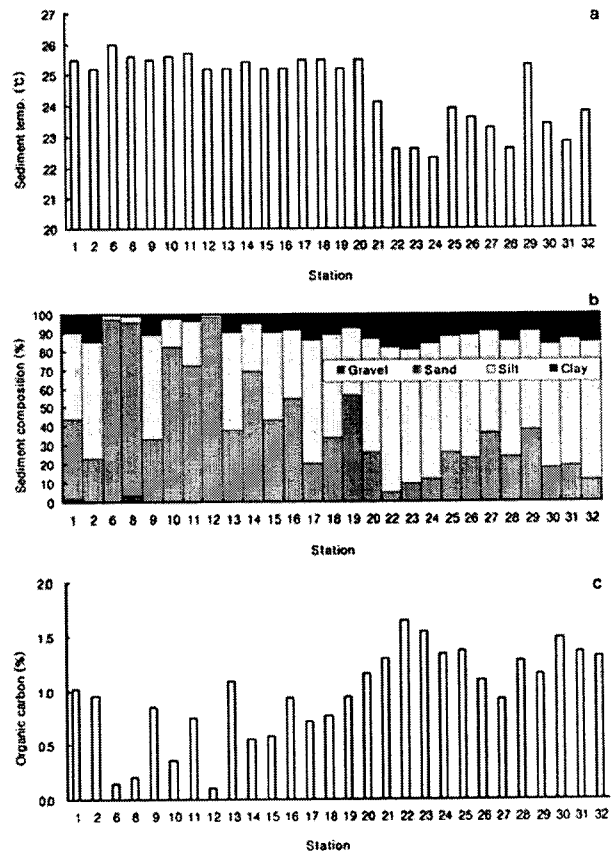


Fig. 3. Distribution of bottom sediment temperature (a), sediment composition (b) and organic carbon (c) at each station near the Nakdong River Estuary.

Table 1. Faunal composition of major taxonomic groups near the Nakdong River Estuary.

Phylum	No. of species	(%)	Mean density (indi./m ²)	(%)	Mean biomass (gWWt/m ²)	(%)
Mollusca	39	19.2	405	26.1	107.9	42.8
Annelida	68	33.5	1,031	66.3	38.8	15.4
Arthropoda	59	29.1	64	4.1	7.7	3.0
Echinodermata	10	4.9	8	0.5	93.2	36.9
Others	27	13.3	46	3.0	4.7	1.9
Total	203	100	1,554	100	252.3	100

을 설정하여 1회 조사한 결과, 대형저서동물은 총 203종이 출현하였으며, 평균 서식밀도는 1,554 ind./m², 생체량은 252.3 gWWt/m²로 나타났다(Table 1). 주요 동물군 별로 살펴보면, 출현 종수는 다모류(Polychaeta) 33.5%, 갑각류(Crustacea) 29.1%, 연체동물(Mollusca) 19.2%, 기타 동물군 13.3%, 극피동물(Echinodermata) 4.9% 순으로 나타났다으며, 평균서식밀도는 다모류 66.3%, 연체동물 26.1%, 갑각류 4.1%, 기타 동물군 3.0%, 극피동물 0.5%를 나타냈다. 또한 생체량은 연체동물이 42.8%, 극피동물 36.9%, 다모류 15.4%, 갑각류 3.0%, 기타 동물군이 1.9%를 차지하였다.

대형저서동물의 공간 분포

출현한 대형저서동물의 종수에 대한 공간분포 특성을 살펴보면(Fig. 4), 가덕도 남부 연안에 위치한 정점 28에서 59종으로 가장 높은 출현 종수를 나타냈으며, 다음으로 연안과 인접한 정점 30에서 57종으로 높은 출현 종수를 보였다. 또한 가덕도 남동부 연안 정점 14, 15, 16, 17에서 50~56종의 범위로 대체로 높은 출현 종수를 나타냈다. 반면에 정점 2에서 갑각류 1종이 출현하여 가장 낮은 종수를 나타냈으며, 정점 6, 8, 12에서 각각 23종, 12종, 23종으로 상대적으로 낮은 출현 종수를 나타냈다. 서식밀도는 조사해역의 중앙부인 정점 20에서 4,181 ind./m²가 출현하여 가장 높게 나타났으며, 다음으로 정점 32에서 3,643 ind./m²를 보였다. 그러나 두 개체가 출현한 정점 2를 제외한 정점 22, 23에서 각각 142 ind./m²와 264 ind./m²로 가장 낮은 서식밀도를 나타냈다. 생체량은 정점 6, 8에서 각각 750.8 gWWt/m²와 1,846.6 gWWt/m²로 가장 높게 나타났으며, 또한 정점 27, 28에서도 각각 918.3 gWWt/m²과 667.6 gWWt/m²로 비교적 높은 생체량을 나타냈다.

주요 우점종 분포

Le Bris Index에 의한 우점종은 상위 7종에 의해 누적 백분을 합계 65%를 나타냈으며, 상위 한 종이 차지한 비율이 27%로, 나머지 종 들은 각각 10% 이하의 상대적으

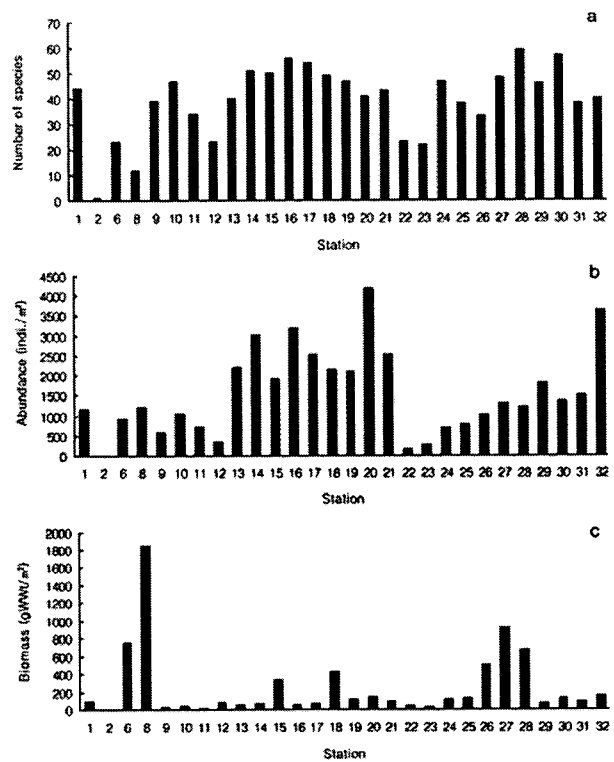


Fig. 4. The number of species (a), abundance (b) and biomass (c) of macrobenthos at each station near the Nakdong River Estuary.

로 적은 개체수가 출현하였다(Table 2). 우점종은 다모류 5종, 연체동물 2종 등이 포함되었으며, 가장 우점한 종은 다모류에 속하는 실타래갯지렁이류(*Tharyx* sp.)였으며, 다음은 긴자락송곳갯지렁이(*Lumbrineris longifolia*), 오뚜기갯지렁이(*Sternaspis scutata*), 연체동물의 이매패류(Bivalve)에 속하는 아기반투명조개(*Theora fragilis*)와 *Alvenius ojianus*, 그리고 다모류에 속하는 꼬리대나무갯지렁이(*Praxillella affinis*), 양손갯지렁이(*Magelona japonica*) 순으로 출현하였다.

공간적 분포에 있어(Fig. 5), *Tharyx* sp.는 정점 20, 32에서 각각 2,878 ind./m²와 2,831 ind./m²로 가장 높은 서

Table 2. Dominant species ranking in abundance.

(Po: Polychaeta, Bi: Bivalvia)

Rank	Species name	Taxon	Mean density (ind./m ² ± STD)	Cumulative (%)	Freq. of occurrence	Freq. (%)	Le Bris Index (1988)
1	<i>Tharyx</i> sp. (Po)	Po	420 ± 751.8	27	19	68	109165.4
2	<i>Lumbrineris longifolia</i> (Po)	Po	143 ± 149.3	36	23	82	70322.5
3	<i>Sternaspis scutata</i> (Po)	Po	118 ± 149.4	44	23	82	56335.8
4	<i>Theora fragilis</i> (Bi)	Bi	129 ± 171.3	52	22	79	50401.2
5	<i>Alvegnus ojanus</i> (Bi)	Bi	91 ± 189.8	58	23	82	37972.0
6	<i>Magelona japonica</i> (Po)	Po	54 ± 64.5	61	22	79	33156.9
7	<i>Praxillella affinis</i> (Po)	Po	60 ± 101.3	65	16	57	18274.6

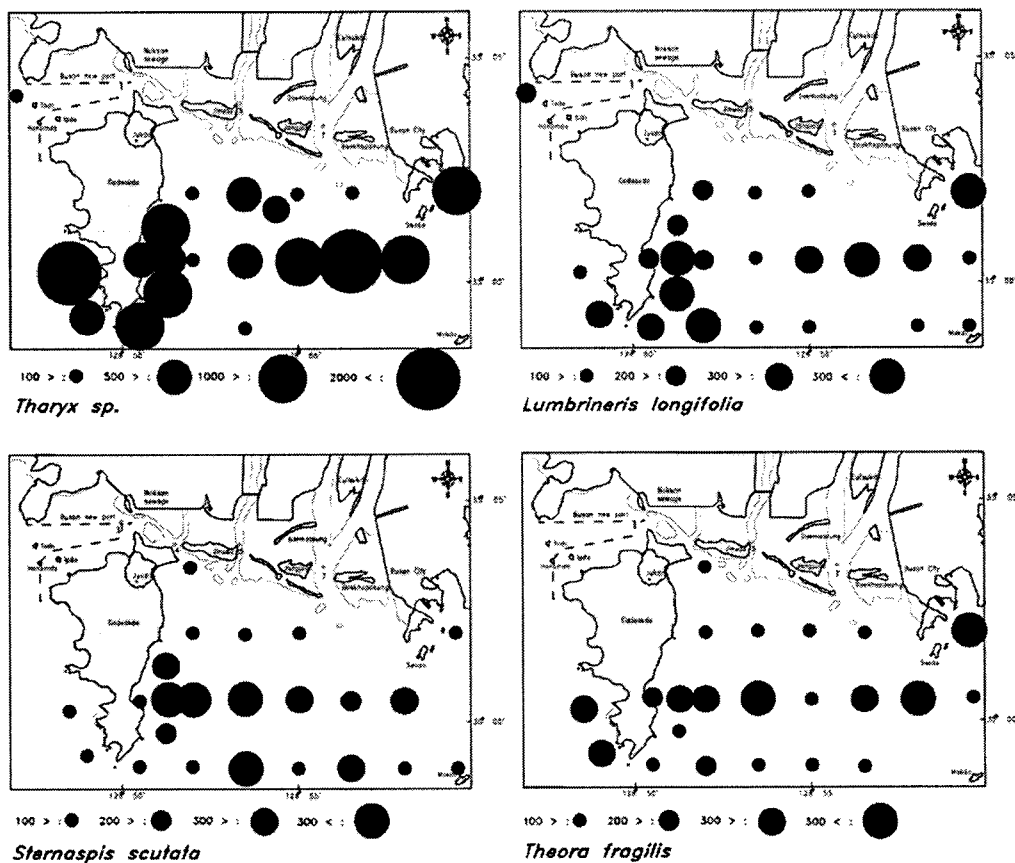


Fig. 5. Abundance of dominant species of macrobenthos at each station near the Nakdong River Estuary.

식밀도를 나타냈으며, 정점 13, 14, 19, 21, 29, 30에서도 500 ind./m² 이상으로 높게 나타났다. 그러나 정점 2, 6, 8 과 정점 22, 23, 24, 25, 26, 28에서는 전혀 출현하지 않았다. *L. longifolia*는 정점 28과 13에서 각각 449 ind./m²와 409 ind./m²로 가장 높은 서식밀도를 나타냈으며, 정점 16, 20, 29에서도 각각 393 ind./m², 343 ind./m², 356 ind./m²로 비교적 높은 서식밀도를 나타냈다. 그러나 정점 22, 23, 24, 26, 27에서는 낮은 밀도로 분포하였으며, 정점 6,

8, 12, 25에서는 전혀 출현하지 않았다. *S. scutata*는 정점 16, 17, 18에서 각각 432 ind./m², 416 ind./m², 462 ind./m²로 높게 나타났으며, 또한 정점 25, 27에서도 각각 271 ind./m², 310 ind./m²로 비교적 높게 분포하였다. 그러나 정점 1, 2, 8, 12, 22에서는 전혀 출현하지 않았다. *T. fragilis*는 정점 13, 18, 21에서 각각 650 ind./m², 413 ind./m², 512 ind./m²로 가장 높은 서식밀도를 보였으며, 정점 31과 32에서도 모두 224 ind./m²로 비교적 높게 나타났

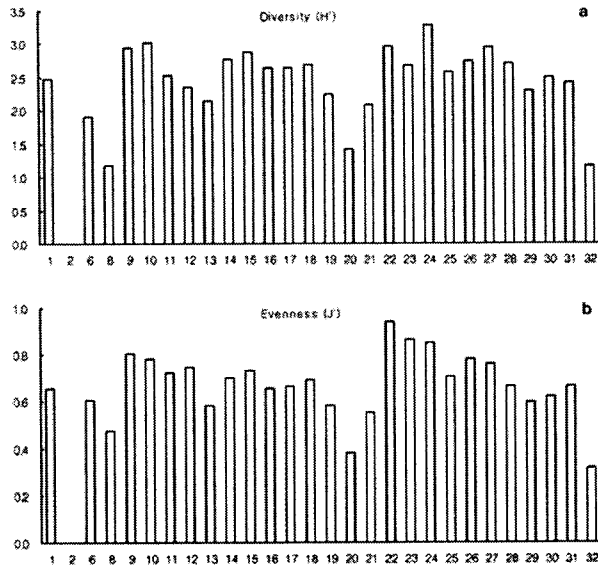


Fig. 6. Species diversity (a) and evenness (b) of macrobenthos at each station near the Nakdong River Estuary.

다. 그러나 정점 1, 2, 8, 23, 24에서는 전혀 출현하지 않았다.

대형저서동물 군집 분석
생태학적 지수

조사정점별 출현 종수와 개체수 자료에 의한 다양도 지수(H')와 균등도 지수(J')를 구한 결과(Fig. 6), 다양도 지수는 정점 24와 10에서 각각 3.3과 3.0으로 최대치를 보였으며, 부산신항만건설 지역과 인접한 정점 2를 제외한 가덕도 북동부 연안 정점 8과 가덕도 남서부 연안 정점 32에서 모두 1.2로 가장 낮은 다양도 지수 값을 나타냈다. 또한 낙동강 하구와 직선상에 놓인 정점 20에서도 1.4로 낮게 나타났다. 균등도 지수는 정점 22에서 0.9로 가장 높고, 정점 32에서 0.3으로 가장 낮았으며, 또한 정점 8과 20에서도 각각 0.5와 0.4로 비교적 낮게 나타났다.

집괴분석과 생태적 특성

낙동강 하구역 조하대 대형저서동물의 종조성을 정점간 유사성에 근거하여 집괴분석(clustering)과 다차원척도법(MDS ordination)을 실시한 결과 총 28개의 조사정점은 크게 4개의 정점군으로 구분되었다(Fig. 7). 정점군 I에는 부산신항만건설공사가 진행중인 지역과 인접한 정점 2가 포함되었으며(이후 정점 2로 표기), 정점군 II는 가덕도 하부와 낙동강 입구에 위치한 연안과 인접한 정점군 정점 6, 8, 12가 포함되었다. 정점군 III에는 가덕도 동부 연안과 중앙부에 위치한 정점들이 포함되었다. 정점군 IV에는

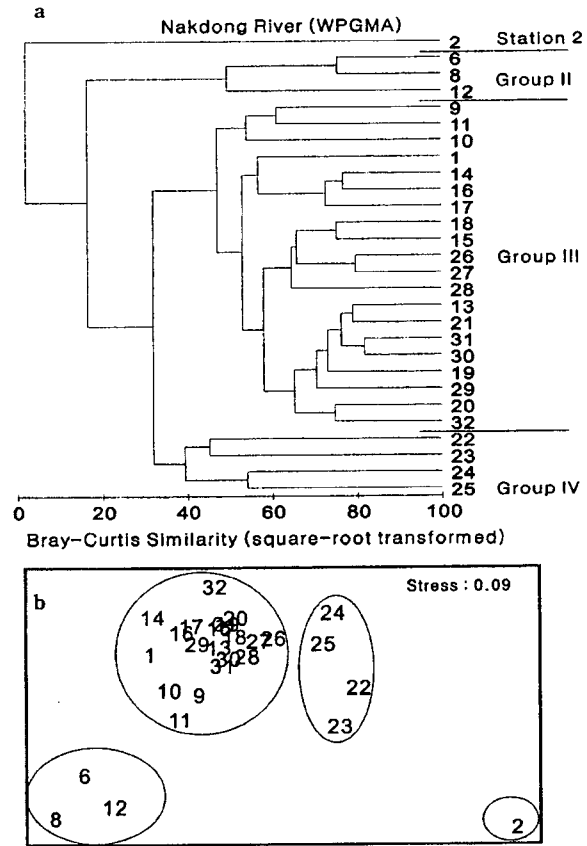


Fig. 7. Dendrogram for pair group-average clustering (a) and Multi-dimensional scaling (MDS) ordination (b) of Bray-Curtis similarity for square-root transformed abundance data from all sites near the Nakdong River Estuary.

Table 3. Results of global and pair-wise tests (global *r* and *p*) from one-way ANOSIM for difference on macrobenthos community between station groups in the sampling area.

	Macrobenthos	
	Global <i>r</i>	<i>p</i> value (%)
Global test	0.949	0.001
Pair-wise test (Groups compared)		
III vs st. 2	1.000	0.048
III vs II	0.989	0.002
III vs IV	0.896	0.001
st. 2 vs II	1.000	0.025
st. 2 vs IV	1.000	0.020
II vs IV	1.000	0.029

목도 주변 정점군으로 정점 22, 23, 24, 25 등이 포함되어 구분되었다. 구분된 정점군 사이의 연관성에 대한 유의성

Table 4. Characteristic of each station groups classified by the cluster analysis in the sampling area.

(Po: Polychaeta, Ga: Gastropoda, At: Athropoda)

Parameters/Station group	Station 2	Group II	Group III	Group IV
Number of station (n)	1	3	20	4
Ecological characteristic				
No. of species	1	34 ± 6	184 ± 7	82 ± 12
Density (ind./m ²)	7	833 ± 443	1,957 ± 986	469 ± 314
Biomass (gWWt/m ²)	0.01	893.1 ± 890.9	200.5 ± 245.2	76.4 ± 50.2
Diversity (H')	0	1.8 ± 0.6	2.5 ± 0.5	2.9 ± 0.3
Evenness (J)	0	0.6 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.8 ± 0.1
Mz (ϕ)	5.8	3.2 ± 0.1	5.1 ± 0.7	6.2 ± 0.4
Organic carbon (%)	1.0	0.2 ± 0.1	1.0 ± 0.3	1.5 ± 0.1
Water depth (m)	10.7	4.4 ± 0.2	17.3 ± 8.2	38.1 ± 10.4
Sediment temperature (°C)	25.2	25.6 ± 0.4	24.7 ± 1.0	22.9 ± 0.7
Bottom water temperature (°C)	24.9	25.2 ± 0.0	23.9 ± 2.0	16.8 ± 5.7
Bottom water salinity (psu)	31.1	30.6 ± 0.3	31.6 ± 0.8	32.8 ± 1.3
Dominant species (ind./m²)				
<i>Tharyx</i> sp. (Po)	0	1	588	0
<i>Umbonium costatum</i> (Ga)	0	443	0	0
<i>Sternaspis scutata</i> (Po)	0	2	149	79
<i>Sinocorophium sinense</i> (At)	7	0	0	0

을 검증한 결과 유의한 차이를 나타냈다(Table 3).

구분된 정점군에 대한 생태적 특성을 비교하기 위해 종수, 서식밀도, 생체량, 우점종, 다양도 지수, 균등도 지수 등과 환경요인을 분석하였다(Table 4). 종수와 평균 서식 밀도는 정점군 III에서 가장 높게 출현하였으나, 생체량은 정점군 II에서 가장 높게 나타났다. 정점군별 다양도와 균등도 지수는 정점군 III, IV에서 비교적 높게 나타났으며, 상대적으로 정점 2와 정점군 II는 낮게 나타났다. 정점군별 평균입도, 유기탄소량, 수심, 염분 등은 정점군 III에서 정점군 IV로 향하면서 증가하였으나 퇴적물온도와 저층수온은 감소하였다. 각 정점군의 우점종은 정점 2에서 절지동물(Athropoda)의 단각류(Amphipoda)에 속하는 *Sinocorophium sinense*, 정점군 II에서 생체량이 높은 연체동물의 복족류(Gastropoda)에 속하는 *U. costatum*이, 정점군 III에서는 *Tharyx* sp., 정점군 IV에는 다모류에 속하는 *S. scutata*가 우점종으로 출현하였다.

환경요인과 저서동물군집의 상관성

대형저서동물 군집구조에 영향을 미치는 환경요인을 파악하기 위해 생물자료는 종수와 개체수 자료를, 환경자료는 평균입도, 유기탄소량, 수심, 퇴적물온도, 저층수온, 저층염분 등의 자료를 이용하였다. 두 자료를 이용한 BVSTEP test 결과, 대형저서동물 군집은 평균입도, 유기탄소량, 수심 등과 유의한 상관관계를 나타냈다. 또한 이

들 자료를 이용해 MDS ordination을 실시한 결과(Fig. 8)에 의해서도 이들의 영향이 공간적 군집구조 형성에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 집괴분석과 유사한 결과를 나타냈다.

대형저서동물 군집의 반응

저서생태계의 교란정도를 파악하기 위해 저서동물 군집구조의 반응을 저서오염지수와 그래프를 이용한 방법으로 분석하였다. 집괴분석에 의해 구분된 정점 2는 적은 출현 개체수로 인하여 분석에 포함시키지 않았다. 조사해역을 저서오염지수(BPI < 30: polluted, BPI 30~60: moderately polluted, BPI > 60: unpolluted)로 평가한 결과(Fig. 9), 정점군 II는 평균 84, 정점군 III는 평균 53, 정점군 IV는 평균 70을 나타냈다. 낙동강 하구의 저서오염지수는 평균 58로 나타났으며, 정점군 II에 속하는 정점 6, 8에서 각각 83과 90으로 가장 높게 나타났으며, 정점군 III에 속하는 정점 13, 28에서 각각 32와 31로 가장 낮은 지수 값을 나타냈다. 한 종이 출현한 정점 2를 제외한 상태에서 *k*-dominance curve와 Rank-frequency diagram을 이용하여 군집의 반응을 분석한 결과(Fig. 10), *k*-dominance curve의 경우 외해 정점이 포함된 정점군 IV에서 연안 정점이 포함된 정점군 II로 갈수록 우점 현상이 증가하는 결과를 보였다. 또한 Rank-frequency diagram의 경우도 연안 정점군에서 기울기가 증가하였으며, 외해의 정점군으로 갈

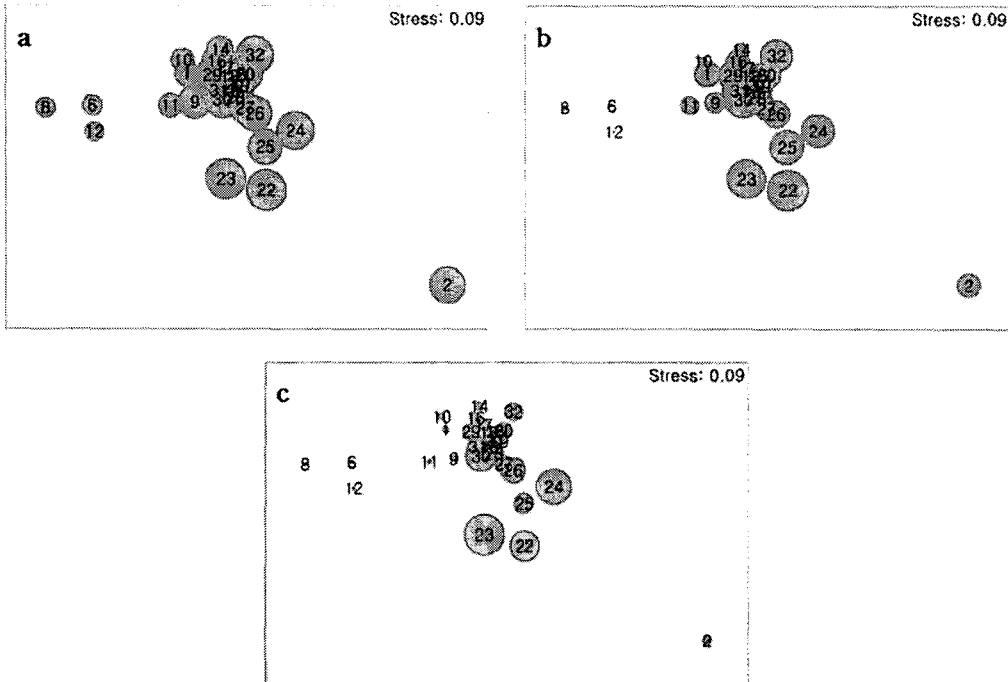


Fig. 8. Multi-dimensional scaling (MDS) of Bray-Curtis similarity from square-root transformed species abundance data with overlap circles of mean grain size (a), organic carbon (b) and water depth (c) data from all sites.

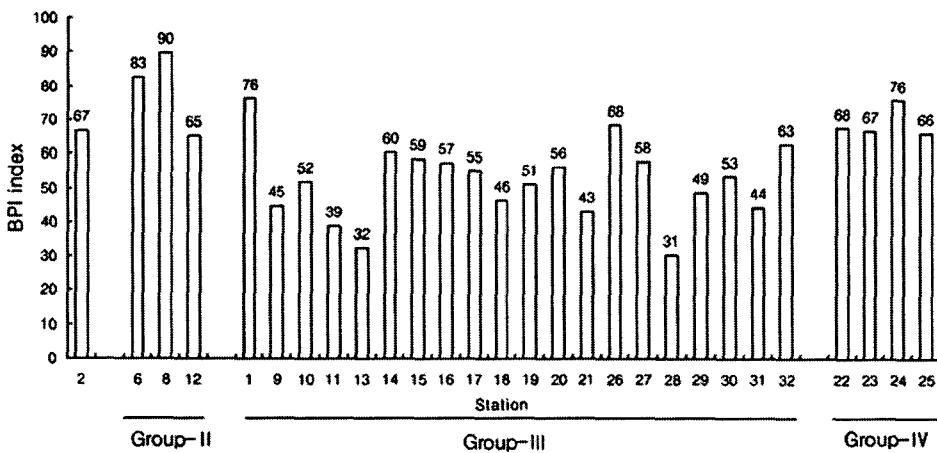


Fig. 9. Benthic Pollution Index (BPI) at each station group.

수록 기울기가 완만해졌다.

5. 고찰

저서환경

낙동강 하구역 조하대 저서동물군집은 퇴적물의 입도조성과 유기탄소량, 수심에 의해 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 특히 퇴적물의 입도조성은 서식생물의 공간분포와 밀접한 관련이 있는 중요한 환경요소로 밝혀졌으며 (Choi and Koh 1994; Yoo and Hong 1996), 가덕도 주변 대형저서동물 군집은 퇴적상의 영향을 받는 것을 보고하였다(윤과 백 2001). 海洋開發研究所(1978)에 의하면 당시 이 지역의 평균입도는 3.8 ϕ 로 미세립질 모래였으며, 분급도는 0.35~0.5 ϕ 로 well sorted한 조성을 보였었다. 그러나 현재는 5.1 ϕ 로 더욱 세립질화 되었으며 분급도는 0.99 ϕ 로 과거보다 불량해진 결과를 보였다. 또한 연안에서 사질이

포와 밀접한 관련이 있는 중요한 환경요소로 밝혀졌으며 (Choi and Koh 1994; Yoo and Hong 1996), 가덕도 주변 대형저서동물 군집은 퇴적상의 영향을 받는 것을 보고하였다(윤과 백 2001). 海洋開發研究所(1978)에 의하면 당시 이 지역의 평균입도는 3.8 ϕ 로 미세립질 모래였으며, 분급도는 0.35~0.5 ϕ 로 well sorted한 조성을 보였었다. 그러나 현재는 5.1 ϕ 로 더욱 세립질화 되었으며 분급도는 0.99 ϕ 로 과거보다 불량해진 결과를 보였다. 또한 연안에서 사질이

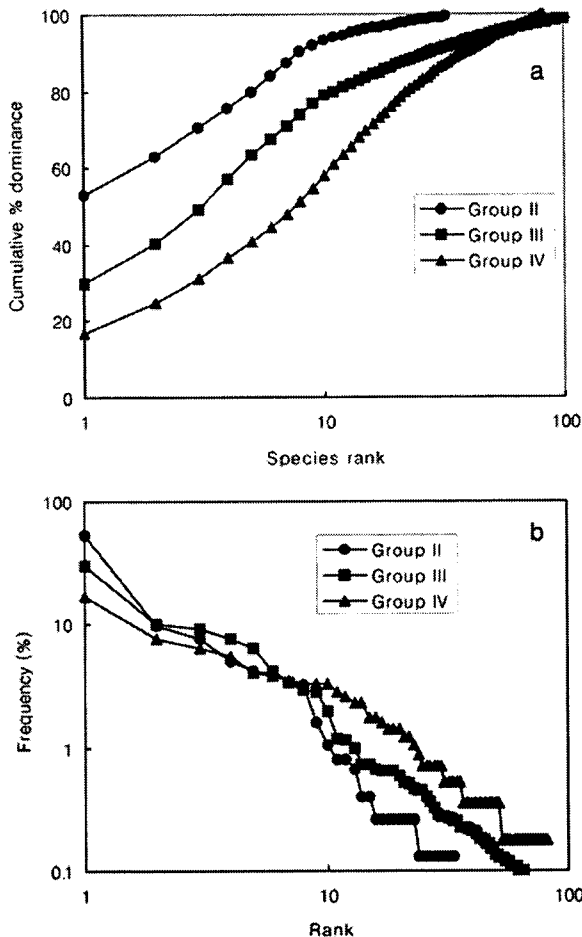


Fig. 10. *k*-dominance curve (a) and Rank-frequency diagram (b) at each station group.

우세하고 외해로 향하면서 니질함량의 증가로 세립질화 되는 경향을 보여 유속에 따라 조립질은 강 하구에, 세립질은 조류의 물리적 영향을 동시에 받으면서 외해에 퇴적된 것으로 보인다. 입도조성과 관련이 높은 퇴적물내의 유기물은 저서동물의 중요한 먹이로 이용되거나 생물에 의한 소비가 초과될 경우 분해되면서 빈산소 수괴를 형성한다(신 등 1989; 박 등 2000). 조사해역의 유기탄소량은 하구역의 특성상 조류의 흐름이 완만하고 사질함량이 높으며 퇴적층의 교란이 빈번한 연안지역보다는 김양식장의 존재로 인해 니질이 우세한 중앙부와 퇴적환경이 비교적 안정된 외해에서 높게 나타났다. 수심은 연안에서 외해로 향할수록 뚜렷한 구배를 보였으며, 외해에 위치한 일부 정점에서 수온약층 현상이 존재하였다. 이는 여전히 여름철 고온의 표층수온과 저온의 저층수온이 혼합되지 못한 원인으로 추정된다. 또한 수심이 깊고 수온이 낮은 외해로 향하면서 퇴적물 온도도 낮아지는 경향을 보였다. 금강과 한강 하구역 조사에서 염분이 대형저서동물 군집구조에 상당한

영향을 미치는 것으로 보고 하였으며(Choi and Koh 1994; Yoo and Hong 1996), 본 조사에서도 낙동강으로부터 유입되는 담수의 영향으로 표층 염분이 다소 낮고 외해 지역에서 수심과 수온에 따라 염분 구배가 형성되어 군집 형성에 어느 정도 영향을 미칠 것으로 예상된다. 대체로 현재 낙동강 하구역 조하대의 저서환경은 연안의 경우 퇴적상이 매우 불안정하고 교란이 진행되었으며, 해역의 중앙부는 유기물에 의한 오염이 진행되거나 가능성이 높게 나타났다. 반면에 외해의 저서환경은 비교적 안정된 상태를 유지하고 있는 것으로 보인다.

대형저서동물의 분포 특성

2001년 9월 낙동강 하구역 조하대에 분포하는 대형저서동물의 종조성과 분포 양상을 밝히고자 조사한 대형저서동물은 총 203종이 출현하였다. 이전의 가덕도 주변 조사에서 260종이 출현한 것에 비해 상대적으로 적은 출현 종수이다(윤과 백 2001). 채집시기, 채집량, 채집횟수가 달라 객관적 비교는 어려우나, 한강 하구인 경기만 조사에서 266종(임 등 1995), 244종(Yoo and Hong 1996), 만경-동진강 하구조사에서 115종(새만금 공동조사단 2000), 영산강 하구조사에서 206종(임과 박 1999), 광양만 조사에서 154종(최 등 2003)이 출현한 자료와 비교해도 낙동강 하구역 조하대는 비교적 종 다양성을 어느 정도 유지하고 있었다. 하구역의 다양한 종 조성을 보이는 이유에 대해 다양한 퇴적상의 존재로 해석하기도 하였는데(신 등 1989; Yoo and Hong 1996), 실제로 본 조사에서도 낙동강 하구역의 퇴적상은 사질과 니질, 그리고 혼합된 퇴적상을 보여 다양한 저서생물이 서식할 수 있는 특성을 지니고 있음을 알 수 있다.

서식밀도의 공간분포 특성은, 가덕도 남동부 주변과 김양식장이 밀집된 중앙부에서 높은 서식밀도를 보였다. 특히 우점종인 *Tharyx* sp., *L. longifolia*, *Sternaspis scutata*, *T. fragilis* 등의 분포가 공간적 서식밀도를 좌우하였다. 이들은 니질이 약간 우세한 혼합된 퇴적상을 선호하고, 유기물오염이 되었거나 진행되는 지역에서 일정 시기에 대량 가입하는 기회종(opportunistic species)으로 알려진 종들이다. 반면에 니질 함량과 유기탄소량이 높지만, 수심이 깊고 저층수온이 낮으며, 염분이 높은 외해에서는 다소 낮은 밀도분포를 보였다. 따라서 이들의 공간 분포 형태로 보면 낙동강 하구역의 저서생태계는 어느 정도 교란되었거나 진행되는 것으로 추정할 수 있다. 서식밀도 분포에 비해 생체량의 분포 특성은 생체량이 높은 특장종의 공간 분포에 의해 좌우되는 경향을 보였다. 즉 가덕수로 하단에 위치하여 연안과 낙동강의 직접적인 영향을 받으며, 조류의 흐름이 강한 정점 6, 8, 12에서만 연체동물에 속하는 *U. costatum*과 *M. chinensis*가 우점하여 분포하는 양상을

보였다. 또한 가덕도 남동부 연안과 김양식장이 밀집된 지역에서 가시뿔해삼(*Protankyra bidentata*)이, 가덕도 남동부와 외해에 위치한 정점 26, 27, 28에 극과동물에 속하는 염통성게(*Schizaster lacunosus*)가, 외해의 영향을 받는 정점 24에서 검은머불가사리(*Luidia quinaria*)가 분포하여 생체량의 공간 분포를 좌우하였다.

우점종으로 출현한 *Tharyx* sp.는 서식밀도가 420 ind./m²로, 가막만에서 우점종으로 출현한 135 ind./m²보다 높게 나타났으며, 광양만에서도 1992년부터 2001년까지 우점종으로 출현하였다(최 등 2003). 가막만의 저서동물군집 분포 양상은 환경요인 중 유기탄소량에 영향을 받고 있는 것으로 보고하였으며(해양수산부 1999), 본 조사에서도 김양식장이 밀집된 중앙부와 여기에 위치한 정점 중 20과 가덕도 남부 주변과 남서부 연안 정점 32에서 가장 우점하였다. 두 정점은 니질 함량이 각각 74.2%와 88.5%로 우세하였으며 유기탄소량도 각각 1.2%와 1.3%로 비교적 다른 정점에 비해 높게 나타나 다른 조사의 분포형태와 유사한 결과를 보였다. *L. longifolia*는 유기물오염이 진행된 지역에서 높은 밀도로 서식하는 오염지시종(pollution indicator)으로 알려져 있으며, 본 조사에서 143 ind./m²의 서식밀도를 보여 진해-마산만 조사에서 175 ind./m²(임 1993), 가덕도 주변 조사에서 177 ind./m²(윤과 백 2001)보다는 낮은 분포를 보였다. 본 종은 가덕도 남동부에 위치한 정점 28과 다대포만 입구 정점 13에서 가장 높은 서식밀도를 보였다. 대체로 조사해역의 김양식장이 있는 중앙부와 가덕도 남동부에 주로 분포하는 경향을 보였으며, *Tharyx* sp.의 공간적 분포패턴과 유사하게 출현하였다. *S. scutata*는 조하대의 사니질 퇴적상을 선호하는 세계적 분포 종으로 알려져 있으며(Hong and Yoo 1996), 득량만 조사에서는 세립질보다 조립질 퇴적상을 선호하고(마 등 1995), 유기오염도가 낮은 외양수의 영향을 받는 지역에 주로 분포하며 계절에 따라 큰 밀도차이는 없었다(임 1993). 본 조사에서는 118 ind./m²가 출현하여 진해-마산만의 27 ind./m², 해양과학공동연구소에 의한 가덕도 주변과 진해만 조사에서의 20 ind./m²보다 높은 서식밀도를 보였다. *T. fragilis*는 유기물오염이 되었거나 진행되는 지역에서 무리(patchiness)를 이루어 우점하는 종으로 잘 알려져 있으며, 본 조사에서 129 ind./m²의 밀도를 보여 마산만 조사에서 8 ind./m²(Hong and Lee 1983)와 진해-마산만 조사에서 82 ind./m²보다 높고, 해양과학공동연구소(1999)의 150 ind./m²보다는 약간 적은 서식밀도 분포를 보였다. 본 종의 분포는 *L. longifolia*가 높은 밀도를 보이는 정점 13 뿐만 아니라 정점 18과 21에서도 높은 서식밀도 분포를 보였다. 또한 윤과 백(2001)의 조사에서도 194 ind./m²로 가덕도 동북부와 중부에서 높은 서식밀도를 보여 최고 우점종으로 보고하였다. 그러나 본 조사에서는 가

덕도 남부와 해역 중앙부에서 높게 나타나는 다른 경향을 보였다. 대체로 낙동강 하구역 조하대에 분포하는 대형저서동물 우점종은 가덕도 남부 연안 정점과 김양식장이 밀집된 해역의 중앙부에서 높은 서식밀도로 출현하는 양상을 보였다.

대형저서동물 군집에 의한 낙동강 하구역 저서생태환경 평가

낙동강 하구역 주변으로부터 유입되는 각종 오염물질에 의한 저서생태계의 교란정도를 대형저서동물 군집구조의 반응에 의한 공간적 분포 특성으로부터 저서생태환경을 간접적으로 평가하고자 하였다. 집괴분석과 MDS ordination에 의해 구분된 정점군의 생태적 특징을 보면 정점 2와 정점군 II는 사질 함량이 높고 유기탄소량이 낮은 연안지역 정점들이 포함되었으며, 다양도 지수는 정점군 II의 경우 1.8 ± 0.6 으로 다른 정점군에 비해 상대적으로 낮게 나타났다. 이는 퇴적상이 불안정하고 한 두 종에 의해 서식밀도가 좌우되어 나타난 것으로 추정된다. 정점군 III은 높은 니질 함량으로 세립질화 되고, 유기탄소량이 높은 가덕도 동남부와 중앙부에 위치한 대부분의 정점이 포함되었다. 종수와 서식밀도가 높고 정점 20과 32를 제외하고 대체로 다양도 지수가 정점별 큰 차이를 보이지 않았으며 평균 2.5 ± 0.5 를 보였다. 이와 같은 현상은 가덕도 동남부 연안 정점군이 가덕도에 의해 둘러싸여진 형태의 지형적 특성에 의해 보호된 지역이고, 중앙부는 김양식장 시설물로 인해 조류의 유속이 감소하여 저층에 많은 유기물이 침전되고 세립질의 퇴적층이 형성되어 나타난 결과로 추정된다. 오염이 상당히 진행된 곳으로 알려진 진해만의 종 다양성지수 1.47~2.16(임 1993)과 비교했을 때, 정점 2와 정점군 II는 상당히 교란되었으며, 정점군 III는 다양도 지수가 2.5 ± 0.5 로 비교적 높게 나타났으나 오염지시종으로 알려진 *Tharyx* sp., *L. longifolia*, *T. fragilis*, *S. scutata* 등이 높은 서식밀도를 보였다. 보통 군집에서 종 다양성을 결정하는 것은 대다수를 구성하는 희소종(rare species)이며, 종 다양도 지수는 건강한 상태에서 높고 오염이 진행 되면 낮아진다. 그러나 오염이 진행되는 초기 단계에 오히려 높게 나타날 수 있어 오염상태를 밝힘에 있어 종종 잘못된 결과를 제공하기도 한다. 또한 심하게 오염된 지역에서 종다양도 지수는 오염 구배나 혹은 오염의 영향을 제대로 나타내 주지 못하는 경우가 종종 발생하기도 한다(Olsgard et al. 1998). 생물자료를 이용한 집괴분석과 MDS ordination을 통한 분석에 의해 나타난 군집과 이에 영향을 미치는 환경요인을 규명하기 위해 상관분석(BVSTEP test)을 통하여, 유의한 상관성을 보이는 평균입도와 유기탄소량 그리고 수심 등을 유추하였다. 따라서 이 세 요인을 이용하여 MDS ordination으로 군집구조

를 나타낸 결과, 수평축을 기준으로 교란이 진행되는 왼쪽 방향으로 크기가 일정하게 변하면서 구배를 보이는 것을 알 수 있다. 이는 연안에서 외해로 향하면서 교란의 정도가 일정하게 진행됨을 판단할 수 있다.

낙동강 하구역 조하대의 대형저서동물군집에 의한 저서오염지수(BPI)는 평균 58을 보임으로서 60 이하의 값을 나타내 moderately polluted 상태를 보였다. 정점군 II는 평균 84, 정점군 III는 평균 53, 정점군 IV는 평균 70을 나타내 군집별 오염지수에 의한 구분이 이루어졌다. 특히 연안에 인접한 정점 6, 8, 12 등이 포함된 정점군 II에서 저서오염지수가 높게 나타나 지수에 의한 결과만으로는 양호한 저서환경으로 평가할 수 있다. 그러나 이와 같은 결과는 섭식유형이 제 1군에 포함되는 여과식자로 알려진 연체동물의 복족류인 *U. costatum*의 출현 개체수가 높게 나타난 원인으로 추정된다. 따라서 저서오염지수의 지수값만을 가지고 저서생태환경의 오염상태를 판단하기는 다소 어려운 점이 있다. 각 종의 섭식유형을 전부 파악해야 하며 이에 대한 많은 객관적 자료가 필요하다는 것과 실수로 다른 군에 포함시키게 되면 다른 결과를 초래할 수 있는 단점을 가지고 있는 것으로 사료된다. 정점군 III은 평균 53으로 평균보다 낮은 지수를 보였으며, 정점군 III에 속하는 정점 13, 28에서 각각 저서오염지수가 32, 31로 가장 낮은 값을 보였다. 정점 13의 경우는 정점의 위치가 조류의 흐름이 원활하지 못하는 다대포항 입구에 위치하고, 지형적으로 보호된 연안에 놓여있어 유기물오염 가능성이 매우 높은 지역이다. 실제 유기탄소량이 정점 13에서 1.09%로 연안에 위치한 정점 중에서 비교적 높게 나타났다. 정점 28의 경우도 가덕도 남동부에 위치하여 수심이 깊고 지형적으로 가덕도의 영향을 받는 지점에 위치한다. 또한 유기탄소량이 1.3%로 비교적 높게 나타났다. 이 두 정점은 이 등(2003)이 시화호에서 이용한 저서오염지수 등급기준에 의하면 시화방조제를 차단하여 심하게 오염되었던 1994~1997년에 나타난 IV-level(31<BPI<40)에 해당되고, 진해만 조사에서 평균 10~50(임과 홍 1994)범위의 등급 결과와 유사하였다. 물론 두 정점만을 비교한 결과이지만 정점군 III은 전반적으로 오염에 의한 교란이 진행되는 것으로 판단된다. 반면에 정점군 IV는 상대적으로 비교적 안정된 저서생태환경을 보여주었다.

k-dominance curve의 경우 우점종의 변화로부터 군집구조의 변화를 파악 하고자 하는 시도로 다양도가 낮고 특정 우점종이 우점하여 우점율이 증가하는 군집일수록 곡선의 기울기가 완만하고, 특정 우점종이 우점하지 않고 다양도가 높아 우점율이 낮은 군집일수록 곡선의 기울기가 증가한다는 점에 착안해서 나타낸다. 낙동강 조하대의 저서동물군집을 분석한 결과 *k*-dominance curve의 경우 외해 정점이 포함된 정점군 IV에서 연안 정점이 포함된 정

점군 II로 갈수록 우점 현상이 증가하는 결과를 보였다. 특히 정점군 II의 우점율이 증가한 원인은 이 정점군에 속하는 정점 6, 8에서 연체동물에 속하는 *U. costatum*의 대량 출현에 의한 것으로 추정된다.

Rank-frequency diagram은 하나의 군집에서 최 우점종이 전체 개체수에서 차지하는 비율은 군집의 성숙정도에 따라 달라지므로, 우점도가 높고 다양도가 낮은 군집에서 순위-빈도 곡선의 기울기 형태가 커지게 된다는 점에 착안한 이론으로 출현 종을 우점 순으로 순위를 정하고 각종의 출현량이 전체에서 차지하는 백분율을 구하여 각각 X, Y축에 log scales로 나타낸다. 낙동강 조하대의 경우 4개로 구분된 정점군 중 정점 2를 제외한 3개의 정점군을 이용하여 순위-빈도 곡선을 작성한 결과에 의하면, 정점군 II의 기울기가 가장 크고 정점군 IV로 갈수록 기울기가 감소함으로써, 연안에서 외해로 향하면서 군집의 다양도와 성숙도가 증가하여 안정화되는 경향이 명확히 나타났다. 본 결과는 진해만(임과 홍 1994)과 가막만(해양수산부 1999)조사에서 유기물에 의해 오염이 진행된 만 안쪽에서 기울기가 높고, 만 입구로 향하면서 기울기가 완만해지는 결과와 유사한 경향을 보여주었다.

6. 요약 및 결론

본 연구는 낙동강 하구역 조하대의 저서환경과 대형저서동물의 종조성과 분포 양상을 밝히는데 목적을 두었으며, 또한 하구역 주변으로부터 유입되는 각종 오염물질에 의한 저서생태계의 교란정도를 대형저서동물 군집구조의 공간적 특성 연구를 통하여 저서생태환경을 간접적으로 평가하고자 하였다. 2001년 9월 낙동강 하구역 조하대의 저서환경과 대형저서동물 군집구조 및 그 분포 양상을 밝히기 위해 총 28개 정점에서 대형저서동물을 조사하였다. 대형저서동물은 총 203종, 1,554 ind./m², 252.3 gWWt/m²이 출현하였다. 환형동물의 다모류가 68종(33.5%), 1,031 ind./m²(66.3%)로 가장 우점한 분류군이었다. 생체량은 연체동물 106.8 gWWt/m²(43.0%)과 극피동물 92.3 gWWt/m²(37.0%)로 두 분류군이 80%를 차지하였다. 우점종은 다모류에 속하는 *Tharyx* sp. 420 ind./m²(27%), *Lumbrineris longifolia* 143 ind./m²(9%), *Sternaspis scutata* 118 ind./m²(9%), 연체동물의 이매패에 속하는 *Theora fragilis* 129 ind./m²(8%) 순으로 출현하였다. 전반적으로 이들 우점종은 가덕도 남부 연안과 조사해역의 중앙부에서 높은 서식 밀도를 보였다. 대형저서동물 군집은 4개의 군집으로 나뉘어졌으며, 한 종이 출현하고 부산산향건설지역과 인접한 정점 2, 가덕수와 낙동강 하구와 인접한 연안 정점군 II, 김양식장 시설물이 존재하는 해역 중앙부와 가덕도 남부 주변 정점군 III, 외해의 목도 주변 정점군 IV로 구분되

었다. 서식지 환경은 연안에서 외해로 향할수록 세립질화 되고, 유기탄소량과 염분은 증가하고 수심은 깊어지는 경향을 보였다. 반면에 저층수온과 퇴적물 온도는 외해로 갈수록 낮아지는 경향을 나타내는 서식지 환경 특성을 보였다. 생물과 환경자료를 종합한 결과에 의하면 대형저서동물 군집은 퇴적상과 유기탄소량, 수심에 따라 주로 영향을 받는 것으로 나타났다. 결론적으로 낙동강 하구역 조하대 대형저서동물의 공간적 분포 특성은 연안과 인접한 군집은 낙동강의 영향으로 퇴적상의 영향을 주로 받고 있는 것으로 판단되며, 해역 중앙부는 주변 김양식장과 같은 시설물과 지형적인 영향으로 퇴적물의 유기물에 의한 영향을 받고 있었으며, 외해 군집은 수심과 온도에 주로 영향을 받고 있는 것으로 추정된다. 대형저서동물 군집의 오염에 대한 반응에 따르면 하구역 연안과 해역 중앙부는 교란되거나 오염이 진행되고 있는 것으로 판단되며, 외해로 향할수록 비교적 안정된 저서생태환경을 유지하였다.

사 사

본 논문을 세심하게 검토해 주신 심사위원님께 깊은 감사를 드립니다. 본 연구는 한국해양연구원의 수탁사업인 “녹산하수처리장 방류관거 공사에 따른 어업피해조사 용역(BSPI323)과 기본연구사업인 연안역 통합관리를 위한 해양환경 변화 특성 규명(PE92200) 및 황해연안역의 인공갯벌 조성기술 연구(PE92100)” 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 마채우, 홍성윤, 임현식. 1995. 득량만의 저서동물 분포. *한국해양학회지*, 28(5), 503-516.
- 박홍식, 임현식, 홍재상. 2000. 천수만 조하대 연성저질의 저서환경과 저서동물 군집의 시공간적 양상. *J. Kor. Fish. Soc.*, 33(3), 262-271.
- 새만금공동조사단. 2000. 새만금사업 환경영향 공동조사 결과 보고서(환경영향분야). 새만금사업 환경영향공동조사단. 704 p.
- 신현출, 최진우, 고철환. 1989. 서해 경기 내만해역 조간대, 조하대의 저서동물군집. *J. Oceanogr. Soc. Kor.*, 24(4), 184-193.
- 윤성규, 백상규. 2001. 가덕도 주변해역 대형저서동물군집 구조의 특성. *한국수산학회지*, 34(5), 493-501.
- 이재학, 박자양, 이형근, 박홍식, 김동성. 2003. 저서오염지수(BPI)를 이용한 시화호 환경평가. *Ocean & Polar Res.*, 25(2), 183-200.
- 임현식. 1993. 진해만 저서동물에 대한 생태학적 연구. 박사 학위논문, 부산수산대학교.
- 임현식, 박경양. 1999. 반폐쇄적인 영산강 하구역 조하대 연성저질의 저서동물 군집. *J. Kor. Fish. Soc.*, 32(3), 320-332.
- 임현식, 이재학, 최진우, 제종길. 1995. 영종도 주변해역의 저서동물 군집. *J. Kor. Fish. Soc.*, 28(5), 635-648.
- 임현식, 홍재상. 1994. 해양 저서동물 군집을 이용한 진해만의 환경 평가. *한국수산학회지*, 27(5), 659-672.
- 주기재, 하경. 1998. 낙동강 유역의 수계생태. *낙동강연구논총*, 1, 107-119.
- 최진우, 유옥환, 이우진. 2003. 광양만에 서식하는 대형저서동물의 하계 공간분포양상. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 8(1), 14-28.
- 한국해양연구소. 1995. 해양저서생물상에 의한 환경평가(해양환경관리기술보고서). 환경부, 과학기술처, 339 p.
- 海洋開發研究所. 1978. 洛東江 河口의 現生 堆積學的인 調査 研究. PE000 11-20-5, 57 p.
- 해양과학공동연구소. 1999. 부산신항 건설사업에 따른 어업 피해 조사(제1편 피해범위). 부경대학교, 928 p.
- 해양수산부. 1999. 연안어장 환경모니터링 기법 개발. 한국해양연구소 BSPG 98292-00-1196-3, 535 p.
- Choi, J.-W. and C.-H. Koh. 1994. Macrobenthic community in Keum-Mankyung-Dongjin estuaries and its adjacent coastal region, Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 29(3), 304-318.
- Clarke, K.R. and M. Ainsworth. 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 92, 205-219.
- Day, J.W., C.S. Hall, and W.M. Kemp. 1989. Estuarine Ecology. John Wiley and Sons. 558 p.
- Folk, R.L. and W. Ward. 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.*, 27, 3-26.
- Frontier, S. 1985. Diversity and structure in aquatic ecosystems. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 23, 253-312.
- Gray, J.S. 1979. Pollution-induced changes in populations. *Phil. Trans. R. Soc. London*, B286, 545-561.
- Hartley, J.P. 1982. Methods for monitoring offshore macrobenthos. *Mar. Pollut. Bull.*, 13, 150-154.
- Hong, J.S. and J.H. Lee. 1983. Effects of the pollution on the benthic macrofauna in Masan Bay, Korea. *J. Oceanogr. Soc. Kor.*, 18(2), 169-179.
- Hong, J.S. and J.W. Yoo. 1996. Salinity and sediment types as sources of variability in the distribution of the benthic macrofauna in Han estuary and Kyonggi Bay. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 31(4), 217-231.
- Lamshead, P.J.D., H.M. Platt, and K.M. Shaw. 1983. The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity. *J. Nat. Hist.*, 17, 859-874.

- Le Bris, H. 1988. Fonctionnement des écosystèmes benthiques Cotiers au contact d'estuaires : la rade de Lorient et la baie de Vilaine. These doc., Univ. Bretagne Occidentale Brest.
- Olsford, F., P.J. Somerfield, and M.R. Carr. 1998. Relationship between taxonomic resolution, macrobenthic community patterns and disturbance. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 172: 25-36.
- Pielou, E.C. 1975. Ecological Diversity. Wiley, New York.
- Rhoads, D.C., P.L. McCall, and J.Y. Yingst. 1978. Distribution and production on the estuarine seafloor. *Am. Sci.*, 66(5), 577-586.
- Shannon, C.E. and W. Wiener. 1963. The Mathematical Theory of Communication. Univ. Illinois Press, Urbana. 177 p.
- Warwick, R.M., T.H. Pearson, and Ruswahyuni. 1987. Detection of pollution effects on marine macrobenthos: further evaluation of the species abundance/biomass method. *Mar. Biol.*, 95, 193-200.
- Wolff, W.J. 1983. Estuarine Benthos. p. 151-182. In: *Estuaries and enclosed seas*. ed. by B.H. Ketchum. Elsevier Scientific Publishing Co.
- Word, J.Q. 1978. The infaunal trophic index. p. 19-39. In: *Coastal water research project, Annual Report*.
- Yoo, J.W. and J.S. Hong. 1996. Community structures of the benthic macrofauna assemblages in Kyonggi Bay and Han Estuary, Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 31(1), 7-17.

Received Mar. 4, 2005

Accepted May 11, 2005