

법성포 와탄천 하구역의 염분과 퇴적환경에 따른 대형저서동물의 공간분포

임현식* · 홍재상¹

목포대학교 해양자원학과

¹인하대학교 해양학과

Spatial Distribution of Macrozoobenthos Along the Salinity Gradient and Sedimentary Environment in the Watancheon Estuary, Beobseongpo, Southwest Coast of Korea

HYUN-SIG LIM* AND JAE-SANG HONG¹

Department of Marine Resources, Mokpo National University, Muan, Jeonnam 534-729, Korea

¹Department of Oceanography, Inha University, Incheon 402-751, Korea

서남해역에 위치한 법성포항 인근의 와탄천 하구역에 서식하는 저서동물의 공간 분포 특성을 파악하기 위하여 하구역 입구에서부터 염분 구배에 따라 10개 정점을 설정하였다. 저서동물의 채집을 위해 1998년 6월부터 1999년 1월까지 van Veen grab(0.1 m²)을 사용하여 각 정점당 3회씩 퇴적물을 채집하였다. 조사 기간 동안 총 114종이 출현하였으며, 이 가운데 다모류가 44종(전체 출현종수의 39%), 갑각류가 34종(30%), 그리고 연체동물이 24종(21%)을 차지하였다. 평균 밀도는 3,053개체/m²로서, 다모류가 2,536개체/m²(83%), 갑각류는 439개체/m²(14%)였다. 생체량은 58.23 g/m²로서 다모류와 연체동물이 각각 29.56 g/m² 및 23.38 g/m²로서 전체 생체량의 51% 및 40%를 차지하였다. 기수성 다모류인 *Minuspio japonica*, 열새우류인 *Corophium sinense*, *Grandidierella japonica*, 이매패류인 *Potamocorbula amurensis*가 우점적으로 출현하였는데, 이들은 담수가 유입되어 염분이 상대적으로 낮은 정점들에서 집중적으로 출현하는 특징을 보였다. *M. japonica*는 염분과 *G. japonica*는 퇴적상과 유의한 상관관계를 보였으나, *C. sinense* 및 *P. amurensis*는 상관관계를 보이지 않았다. 또한 저층 염분이 낮은 배수갑문 근처의 정점에서는 다모류인 *Hediste japonica*가 집중적으로 출현하였으며 염분과 음의 상관관계를 나타내었다. 종 다양도는 하구역 입구에서 상대적으로 높았으나 하구역 내로 들어올수록 감소하는 양상이었다. 특히 담수의 영향을 받으며 모래질 퇴적상으로서 입도가 조립한 배수갑문 인접 정점들에서는 빈약한 생물상을 나타내었다. 집괴분석 결과 저서동물 군집은 외해역으로부터 수로를 따라 순차적으로 배열되는 정점군으로 대별되었으며, 각 정점간에는 출현종수와 밀도의 차이가 뚜렷하였다. 이러한 정점군의 배치는 수로를 통해 유입되는 담수로 인한 염분 구배 및 퇴적상에 따라 구획되는 특징을 나타내었다. 결론적으로 하구역에 서식하는 저서동물의 공간분포는 다양한 무기 환경 요소를 가운데 일차적으로 저층수의 염분에 의해 영향을 받으며, 이차적으로 퇴적상에 의해 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

Spatial distribution pattern of macrozoobenthos was studied along the salinity gradient and sedimentary environment in the Watancheon estuary, Beobseongpo, southwest coast of Korea. Ten stations were set from the mouth towards the head of estuary. Three replicate sediment samples were taken using a van Veen grab (surface area 0.1m²) at each station between June 1998 and January 1999. A total of 114 species were collected during the study period and they are composed of 44 species of polychaetes (39%), 34 of crustaceans (30%), 24 of molluscs (21%) and 12 of miscellaneous. The former two taxa together accounted for 69% in the total number of species. The mean density was 3,053 ind./m², comprising 2,536 ind./m² from polychaetes (83%) and 439 ind./m², crustaceans (14%). Moreover, the mean biomass was 58.23 gwwt./m², consisting of 29.56 gwwt./m² from polychaetes (51%), 23.38 gwwt./m², molluscs (40%). A spionid polychaete *Minuspio japonica*, two corophiid amphipods *Grandidierella japonica* and *Corophium sinense*, a bivalve *Potamocorbula amurensis* were major dominants at the head of estuary where the salinity was relatively lower compared with contiguous sites. The distributions of *M. japonica* and *G. japonica* were significantly related to the salinity and sediment environment, respectively, whereas *C. sinense* and *P. amurensis* showed no significance. The nereid polychaete, *Hediste*

*Corresponding author: hslim@chungkye.mokpo.ac.kr

japonica, also predominated at the head of the estuary where bottom salinity was relatively low. Species diversity was high at the mouth area whereas low diversity and few species number were seen at the stations in the head of the estuary, influenced by freshwater and sandy sediment. Based on the cluster analysis, the macrobenthic community was classified into four station groups from head (station group A) toward mouth (group D) in the study area. The number of species and abundance between station group B and C were significantly different. And the abundance of between two neighboring station groups (station group A and B, B and C, C and D) was also different. These results suggested that the spatial distribution pattern of macrobenthos in this estuary seemed mainly related to gradients in bottom salinity and sediment grain size among environmental factors.

서론

담수와 해수가 혼합되는 하구역은 육상으로부터 운반되는 유기물로 인해 담수나 해양환경에 비해 영양염이 풍부하기 때문에 동식물 모두 높은 생산력을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 여기에 서식하는 저서동물들은 담수 생물들은 거의 없고 해양생물들이 대부분을 차지하고 있지만, 주변 해양에서 서식하는 저서동물들에 비해 종 수는 극히 적어 약 10% 이하인 경우도 있다. 한편, 하구역은 출현종수는 매우 빈약하지만 저서동물의 밀도는 높은 특성을 가지고 있다(Day, 1981).

연안역에서 저서동물의 공간 분포에 영향을 미치는 환경 요소에는 퇴적상을 비롯하여 퇴적물 내의 유기물 함량, 저층용존산소량 등이 있다. 그러나 담수가 정기적으로 유입되는 하구역에서는 1차적으로 염분의 구배에 따라 저서동물의 공간 분포가 달라지게 되며, 유사한 염분 조건하에서는 퇴적상에 의해서도 공간 분포가 달라진다고 알려져 있다(Boyden and Little, 1973; Flint and Kalke, 1985; 홍 등, 2000). 연안역에서의 염분 구배는 저서동물 뿐 아니라 표영 생태계에 서식하는 어류와 새우류 등의 분포에도 영향을 미쳐 이들을 대상으로 하는 어업의 어획량도 차이가 나는 것으로 알려져 있다(Copland and Bechtel, 1974).

우리나라 주변에는 다양한 크기의 강과 하천으로부터 담수가 해양으로 유입되고 있다. 그러나 대부분의 하구역은 농업 및 산업용수 확보, 홍수조절을 목적으로 해양과 인접하는 장소에 하구둑과 수문이 건설되어 있어 담수는 비정기적으로 해양으로 유입된다. 담수의 유입으로 인한 염분 저하는 하구역 조하대 및 조간대에 서식하는 저서동물 분포에 영향을 미치게 되고, 특히 풍수기인 여름철과 갈수기인 겨울철에는 염분 농도 구배가 더욱 뚜렷해져 여기에 서식하는 생물들이 더 큰 영향을 받을 가능성이 있다.

우리나라의 하구역 주변에서 하구역의 환경 특성인 염분 및 퇴적상과 관련하여 저서동물 군집을 체계적으로 연구한 예는 많지 않다. Hong and Yoo(1996)는 한강 하구역인 영종도 주변의 광범위한 해역에 걸쳐 저서군집과 환경 요인들을 동시에 조사하고, 염분과 퇴적상의 공간적 차이가 저서동물 군집의 공간분포를 결정하는 중요한 환경 요소임을 지적하였다. 그러나 이 연구에서는 염분 구배에 따른 구체적인 저서동물상의 변동을 제시하지는 못하였고 공간 분포 차이만을 통계적으로 제시하였다. 한편, 홍 등(2000)은 동해안에 위치한 소규모 하천인 양양 남대천 하구역에서 저서동물 분포와 빈폐쇄적인 하구 환경과의 관계를 논하면서, 염분 농도의 차이와 수심이 깊은 장소의 경우 고염의 해수 정체로 인해 발생하는 여름철 빈산소 등에 의해 저서동물 분포가 조절된다고 보고하였다. 그 밖에도 낙동강 하구역에서의 대형 저서동물

분포에 대한 조사가 있으나 군집생태학적인 측면에서의 연구라기보다 출현종 목록 작성의 성격이 강하였다(장과 김, 1992). 따라서 우리나라에서 담수유입으로 인해 염분의 구배가 뚜렷한 하구역에서 하나의 조사 지선(transect)을 설정하고 저서동물 군집의 공간 분포 양상을 조사한 결과는 없는 실정이다.

본 조사지역인 외탄천은 영광군 대마면 성산리에서 발원하여 하구역인 법성면 입암리까지 총 연장 25.42 km인 소규모 하천이다. 또한 유역면적은 205 km²로서 하천은 전라남도와 전라북도의 경계가 된다. 외탄천 하구역에는 하천의 범람을 막고 법성포 항으로 유입되는 토사를 막기 위하여 길이 196 m, 높이 10 m인 배수갑문이 1997년 준공되었다. 이 배수갑문으로 인해 안쪽에는 유효저수량이 367,000 m³인 담수호가 생겼으며, 9개의 수문(B8.4×H6.0 m)이 설치되어 홍수시에는 1,060 m³/sec의 담수를 방류할 수 있다. 배수갑문을 통해 유출된 담수는 배수갑문 외측에서부터 약 5 m 폭의 좁은 수로를 따라 바다로 흘러들고 있다. 그러나 담수 방류량은 상류로부터의 담수 유입량에 따라 결정되기 때문에 풍수기인 여름철에는 방류량이 많고 갈수기인 겨울철에는 방류량이 적어진다. 그 결과 담수가 배출되는 배수갑문 밖의 하구역은 미세 퇴적물의 침식과 퇴적으로 인해 여름철과 겨울철의 퇴적상 변동이 매우 뚜렷하게 나타난다.

따라서 본 연구에서는 하구역에 서식하는 저서동물의 시·공간 분포양상을 저층 수괴의 염분 구배와 퇴적환경 등과 연관시켜 파악하고자 하였다. 또한 본 연구에서 얻어진 자료는 외탄천 하구역에 위치한 법성포 항 주변해역에서의 저서환경 변화에 따른 저서동물 군집 변동 파악의 예비자료로 활용함을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

외탄천 하구역 조하대 연성저질에 서식하는 저서동물을 채집하기 위하여 외탄천 하구역 수문에서부터 외해역에 이르는 해역에 10개 정점을 설정하고, 계절별로 늦은 봄철인 1998년 6월과 여름철인 8월, 가을철인 10월 그리고 겨울철인 1999년 1월에 현장 조사를 수행하였다(Fig. 1). 6월부터 10월까지의 정점 1~7까지를, 겨울철인 1월에는 담수를 방류하는 수문 입구까지 정점 8, 9, 10을 추가하여 조사하였다. 조사시기는 좁은 수로에 위치한 정점에서의 채집을 위해 조사선박의 운항이 가능한 만조 때를 중심으로 수행되었다. 저서동물의 채집은 van Veen grab(0.1 m²)을 사용하여 각 정점당 3회씩 해저퇴적물을 채집하였다. 인양된 퇴적물은 선상에서 1 mm망목의 체로써 체질하여 펄을 제거한 다음, 잔존물을 시료병에 담고 10% 중성포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다.

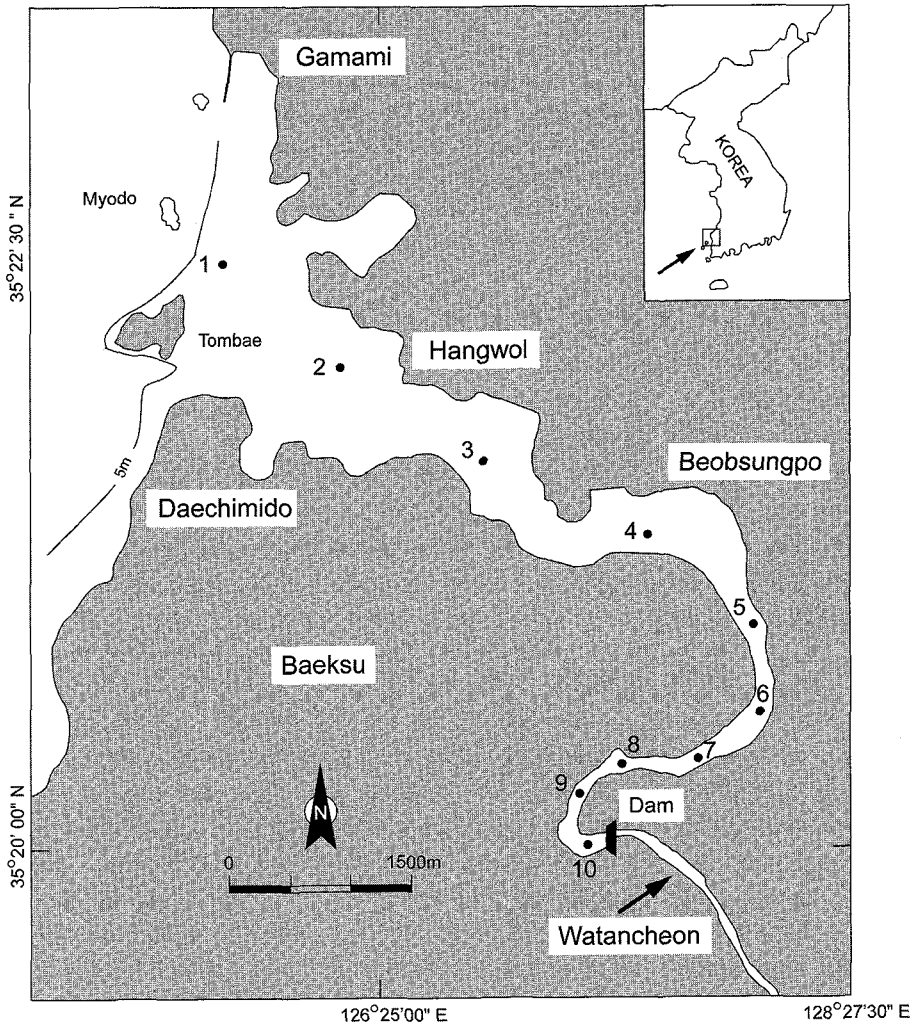


Fig. 1. Map showing the sampling stations in Watancheon Estuary, Beobsungpo, southwest coast of Korea.

실험실에서는 저서동물만을 선별하여 각 분류군별로 0.01 g까지 습중량(gWWt)을 측정하였고 종 수준까지 동정하고 종별 개체수를 세었다. 밀도 및 생체량 자료는 단위 면적 당(m^2)의 자료로 환산하여 사용하였으며, 주요 개체수 우점종을 선별하여 분포 특성을 파악하였다. 군집의 구조 분석을 위하여 종 다양도 지수(Shannon and Wiener, 1963), 균등도 지수(Pielou, 1966)를 구하였으며, 정점간 유사도는 Bray-Curtis percent similarity를 사용하였으며, 가중평균 결합법을 이용하여 군집을 구획하고 그 특성을 파악하였다. 저서동물과 환경과의 상관관계 파악을 위해 Spearman 순위상관계수를 구하였는데, 퇴적환경 자료가 함께 측정된 여름철과 겨울철 자료만을 사용하였다. 또한 구분된 정점군 간의 출현종수, 밀도 및 생체량의 차이 여부를 nonparametric test인 Kruskal-Wallis test를 이용하여 분석하였다. 이 때 사용한 프로그램은 MVSP(ver. 3.2), Systat(ver. 9.0), SPSS(ver. 8.0)이었다.

환경 특성을 파악하기 위하여 현장에서 수온, 염분은 CTD(SBE 19)를 이용하여 표층에서부터 저층까지 측정하였으며, 퇴적물 입도분석을 위해 저서동물 채집을 위해 인양되었던 퇴적물 가운데 약 200 g 정도를 별도로 채집하였다. 입도분석은 탄산염과 유기물을 제거한 다음 습식 체질과 Sedigraph 5100을 이용하여 분석하였다.

퇴적물의 유기물 분석을 위해 퇴적물 시료의 일부를 건조기에 넣고 $80^\circ C$ 에서 약 48시간 이상 건조하였다. 이 건조된 시료를 막자사발에서 곱게 갈아 분말로 만든 다음, 체로 쳐서 굵은 입자를 제외하고 중크롬산칼륨($K_2Cr_2O_4$)과 황산 제1철암모늄($FeSO_4(NH_4)_2SO_4$)으로 적정하는 역적정법을 이용하여 POC를 측정하였다(Strickland and Parsons, 1972).

결과 및 토의

조사해역의 환경

와탄천 하구역 주변 해역은 갯벌이 잘 발달되어 있으며, 갯벌의 중앙에 형성되어 있는 수로를 통해 간조시에도 하구역에 위치한 법성포 항으로 어선의 입·출항이 이루어지고 있다. 조사지역의 평균 수심은 5 m 이하이며, 법성포 항의 조차는 소조차가 264.4 cm, 대조차가 529.8 cm로서 평균 조차는 397.0 cm인 증조차 해역이다(국립지리원, 1983).

조사해역의 수온 변동은 여름철인 8월에 평균 $27.68(\pm 0.30)^\circ C$ ~ 겨울철인 1월의 평균 $5.92(\pm 0.36)^\circ C$ 범위였다(Fig. 2). 봄철과 가을철에는 각각 $23.70(\pm 0.60)^\circ C$ 와 $22.30(\pm 0.15)^\circ C$ 로서 차이가 거의

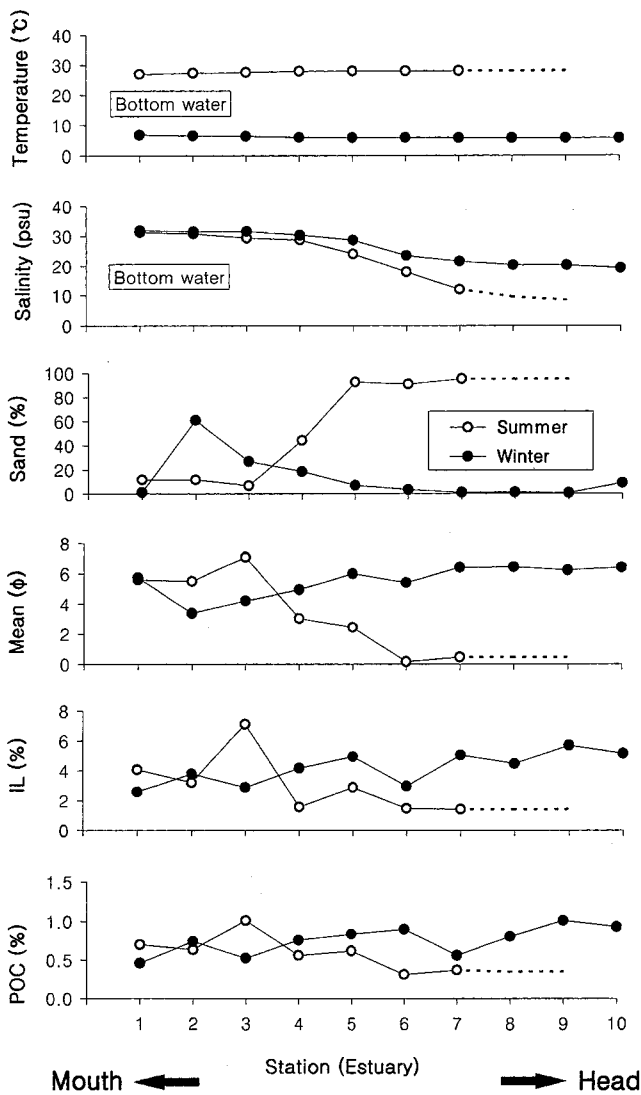


Fig. 2. Seasonal variations in the content of sand, mean phi, ignition loss and POC in the sediments and water temperature and salinity along the stations in Watancheon Estuary, Beobseongpo, southwest coast of Korea.

없었다. 저층 수온은 8월의 27.66(±0.40)°C~겨울철의 6.04(±0.39)°C 범위였다. 봄철에는 23.46(±0.52)°C였으며, 가을철에는 22.31(±0.15)°C를 나타내었다. 본 조사지역은 표·저층 수온 모두 여름철에는 정점 1(하구 입구역)에 비해 배수갑문 쪽으로 들어가면서 상대적으로 높게 나타났으며, 겨울철에는 이와는 반대로 정점 1에서 배수갑문 쪽으로 들어가면서 수온이 낮아지는 경향을 보였다. 그러나 수심이 얕고 조석작용에 의해 수괴 혼합이 활발하기 때문에 정점간 표·저층 수온 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

염분은 표층의 경우 여름철의 평균 23.66±7.93‰~가을철의 29.06±1.33‰ 범위였으며 봄철과 겨울철에는 각각 평균 29.04±0.31‰ 및 23.90±7.11‰였다. 저층 염분은 여름철의 24.89±7.35‰~봄철의 29.73±2.19‰의 범위였으며, 가을철과 겨울철에는 각각 29.06±1.31‰ 및 25.86±5.35‰였다. 저서동물의 분포에 영향을 미

치는 저층 염분의 경우 여름철에는 외해역에 면한 정점 1에서부터 배수갑문 쪽으로 들어가면서 염분 감소 경향이 뚜렷하였다(Fig. 2). 즉, 정점 1과 2에서는 30.0‰ 이상이던 것이 정점 3과 5 사이에서는 24.1~29.4‰ 범위였으며, 정점 6과 7에서는 각각 18.0‰ 및 12.0‰로 감소하였다. 겨울철의 경우 정점 1~정점 4에서는 30.0‰ 이상이었으나, 정점 5에서는 28.7‰, 정점 6에서는 23.5‰, 정점 7에서는 21.6‰로 감소한 다음 정점 10에서는 19.2‰를 나타내었다.

하구역 입구해역의 퇴적상은 니질로 구성되어 세립한 양상을 나타내며, 배수갑문 쪽으로 들어오면서 모래의 함량이 상대적으로 높아져 조립해진다(Fig. 2). 그러나 갈수기와 풍수기 때의 담수 유입에 따른 세립질 퇴적물의 침식과 퇴적으로 인해 정점 5부터 배수갑문까지는 퇴적상 변동이 크게 나타난다. 즉, 여름철의 경우 정점 1에서는 평균 입도가 5.59φ 였으나 하구역 안쪽으로 들어오면서 모래함량이 높아지면서 점차 조립한 퇴적상을 나타내어 정점 6과 7에서는 각각 0.15φ 및 0.45φ였다. 모래질의 함량도 정점 5에서 7까지는 90% 이상으로서 실트와 점토 함량은 10% 이하였다. 겨울철에는 정점 2의 3.37φ~정점 8의 6.43φ 범위로서, 여름철에 입도가 조립하던 정점 5~7에서의 입도는 세립화되었다. 또한 퇴적물 내의 모래함량은 정점 2가 66%로 가장 높았고 담수가 유입되는 배수갑문 쪽으로 갈수록 모래함량이 감소하여 정점 5~10까지는 10% 미만의 낮은 값이었다. 겨울철 현장 조사시 정점 5와 8 사이에서는 여름철에 우세하던 모래 퇴적물 상층에 필이 약 5~10 cm 정도의 두께로 퇴적되어 있음을 관찰할 수 있었다. 이와 같은 퇴적물의 침식과 퇴적은 계절적으로 반복되어 나타날 것으로 판단된다.

퇴적물의 강열감량도 여름철에는 외해역으로부터 배수갑문 쪽으로 들어가면서 감소하는 경향이 뚜렷하였다(Fig. 2). 즉, 입도가 세립한 정점 1에서는 4.1%이던 것이 모래 함량이 많은 정점 7에서는 1.4%를 나타내었다. 그러나 겨울철의 경우 배수갑문 쪽으로 들어가면서 증가하는 경향을 보여 여름철과는 상반되는 양상이었다. 퇴적물 내의 POC 함량도 강열감량과 유사한 분포 양상을 나타내었다.

외탄천 하구역의 환경 특성은 정점 5, 6, 7을 중심으로 담수 유입에 따른 염분의 구배와 퇴적상의 공간적인 차이가 뚜렷한 하구역 입구역(mouth)과 하구역 안쪽(head)으로 구별되는 특징을 보이고 있다.

종조성, 밀도 및 생체량

조사 기간 동안 출현한 저서동물은 총 114종이었으며, 이 가운데 다모류가 44종으로서 전체 출현종수의 39%, 갑각류가 34종으로서 30%, 그리고 연체동물이 24종으로서 21%를 차지하였다(Table 1). 평균 밀도는 3,053 개체/m²였는데, 다모류의 밀도가 2,536 개체/m²로서 특히 우점하였으며, 전체 밀도의 83%를 차지하였다. 갑각류는 439 개체/m²로서 전체 밀도의 약 14%를 점유하였는데, 연체동물을 포함한 기타 분류군의 밀도는 극히 낮았다. 생체량은 평균 58.23 g/m²로서 이 가운데 다모류와 연체동물이 전체 생체량의 각각 51% 및 40%를 차지하였다.

각 계절별 출현종수는 봄철에는 50종, 여름철에는 60종으로서 비교적 많은 종이 출현하였으나, 가을철과 겨울철에는 각각 43종

Table 1. Number of species, mean density and biomass of macrobenthic faunal groups in Watancheon estuary, Beobseongpo, southwest coast of Korea between June 1998 and January 1999

Total no. of species	June 1998	Aug. 1998	Oct. 1998	Jan. 1999	Total
		50 (100%)	60 (100%)	43 (100%)	49 (100%)
Polychaeta	20 (40.0)	29 (48.3)	21 (48.8)	24 (49.0)	44 (38.6)
Mollusca	12 (24.0)	10 (16.7)	5 (11.6)	10 (20.4)	24 (21.1)
Crustacea	16 (32.0)	15 (25.0)	12 (28.0)	11 (22.4)	34 (29.8)
Echinodermata	-	2 (3.3)	1 (2.3)	1 (2.1)	4 (3.5)
other	2 (4.0)	4 (6.7)	4 (9.3)	3 (6.1)	8 (7.0)
Mean density (ind./m ²)	9,003 (100%)	3,926 (100%)	1,731 (100%)	2,128 (100%)	3,053 (100%)
Polychaeta	7,503 (83.3)	2,976 (75.8)	1,686 (97.4)	1,756 (82.5)	2,536 (83.1)
Mollusca	86 (1.0)	61 (1.6)	8 (0.5)	169 (10.7)	72 (2.3)
Crustacea	1,394 (15.5)	885 (22.5)	35 (2.0)	133 (6.2)	439 (14.4)
Echinodermata	-	1 (0.0)	1 (0.0)	1 (0.1)	1 (0.0)
other	20 (0.2)	3 (0.1)	2 (0.1)	1 (0.1)	5 (0.2)
Biomass (gWWt/m ²)	143.73 (100%)	58.42 (100%)	19.77 (100%)	54.37 (100%)	58.23 (100%)
Polychaeta	40.86 (28.4)	11.14 (19.0)	5.43 (27.5)	39.72 (73.0)	29.56 (50.8)
Mollusca	86.09 (59.9)	41.38 (70.8)	11.57 (58.5)	11.02 (20.3)	23.38 (40.1)
Crustacea	16.43 (11.4)	3.75 (6.4)	1.52 (7.7)	2.30 (4.2)	3.67 (6.3)
Echinodermata	-	0.08 (0.2)	0.05 (0.2)	0.47 (0.9)	0.10 (0.2)
other	0.34 (0.3)	2.07 (3.6)	1.20 (6.1)	0.87 (1.6)	1.51 (2.6)

과 44종이 출현하여 겨울철의 경우 3개 정점이 추가되었음에도 불구하고 출현종수는 감소하였다(Table 1). 동물군별로는 다모류가 여름철에 29종이 출현하여 상대적으로 많았으나, 그 외의 계절은 20~22종으로서 변화가 없었다. 갑각류는 봄철에 16종이 출현하였으나 점차 감소하는 경향을 나타내어 겨울철에는 10종이 출현하였다. 연체동물은 5~12종 범위로서 점유율은 높지 않았다.

서식밀도는 봄철에 가장 높았으며, 가을철에는 가장 낮은 밀도였다. 각 계절별로 다모류의 출현밀도가 75% 이상의 점유율을 나타내었는데, 봄철에는 7,503 개체/m²로서 최고밀도를 나타내었으며(76%), 가을철에도 점유율은 97%에 달하였다. 갑각류는 봄철에 상대적으로 가장 높은 밀도였으나 이후 밀도가 감소하였다.

생체량은 6월의 143.73 g/m²~10월의 19.77 g/m² 범위였다. 다모류와 연체동물의 생체량이 우점하였는데, 1999년 1월에는 다모류의 생체량 점유율이 높은 반면 다른 계절에는 연체동물의 생체량 점유율이 높게 나타났다.

공간분포 양상

출현종수는 배수갑문 근처에서부터 외해역으로 나갈수록 증가하는 양상으로서, 정점 1과 3에서 각각 47종이 출현하여 가장 많았으며, 정점 5, 6, 7에서는 20종 전후의 출현을 보였다. 이와 같은 공간 분포 양상은 전 계절을 통해 공통적으로 나타났다(Fig. 3). 다모류 출현종수는 외해역에 위치한 정점 1에서 24종으로 가장 많고 담수 영향이 강한 배수갑문 쪽으로 들어올수록 감소되는 양상이었다. 연체동물과 갑각류는 일정한 공간분포 경향을 보이지 않았으나, 여름철에는 정점 7을 제외하고는 전 정점에서 10종 이상이 출현하였다. 가을철에는 정점 1과 3에서 각각 15종과 14종이 출현한 것을 제외하고는 여타 정점들에서 5종~6종이 출현하였다.

밀도는 출현종수가 상대적으로 적은 정점 7에서 17,550 개체/

m²로서 최대였으며, 정점 5와 6에서도 상대적으로 밀도가 높았는데 입구역인 정점 1 근처로 나가면서 감소하는 양상이었다(Fig. 3). 서식 밀도가 높은 정점에서는 다모류의 점유율이 높아 정점 7의 경우 전체 밀도의 92%를 점유하였고, 정점 6에서는 약 77%, 정점 5에서는 66%를 차지하였다. 한편 갑각류도 정점 5와 7에서 1,000 개체/m² 이상의 밀도를 나타내었으나 그 밖의 생물군들은 출현밀도가 높지 않았다. 가을철의 경우 6종 이하의 출현종수를 보인 정점 5와 6에서는 5,000 개체/m² 이상의 극히 높은 밀도를 보였는데, 다모류 밀도가 95% 이상을 차지하였다. 또한 정점 7에서도 다모류의 비율이 97%를 점유하였다. 겨울철에도 정점 5, 6, 7에서 높은 밀도를 보인 반면, 외해역이나 배수갑문 쪽으로 갈수록 밀도가 감소하는 양상이었다.

생체량은 밀도가 높았던 정점 5, 6, 7에서 100 g/m² 이상을 나타냈으며, 정점 3, 4, 5에서는 20 g/m² 이하의 값이었다(Fig. 3). 정점 1에서 6까지는 연체동물의 생체량이 우세하였으나 정점 7과 8에서는 다모류의 생체량이 79.23 g/m² 및 83.49 g/m²로서 각각 78% 및 95%를 점유하였다.

우리나라의 경우 전형적인 하구역의 특성을 나타내는 장소에서의 저서동물 군집 연구결과가 없기 때문에 본 연구 결과 출현한 저서동물의 종 수와 밀도 등을 직접적으로 비교하기는 어렵다. 그러나 홍 등(2000)이 강원도 양양 남대천 하구역에서 조사한 바에 의하면 여름철에는 17종 밖에 출현하지 않았으나, 본 연구에서는 여름철에만 60종의 저서동물이 출현하였으며 밀도도 높았다. 남대천 하구역은 해수와 교환이 불량하여 하구역 수괴가 정체되어 빈산소 수괴가 형성되는 반면, 본 조사해역은 담수와 해수의 혼합이 원활하여 상대적으로 다양한 종이 출현한 것으로 판단된다. 특히, 양양 남대천 하구역은 조차가 거의 없고 입구에 형성된 모래톱으로 인해 해수의 교환도 극히 제한적으로 일어나지만, 본

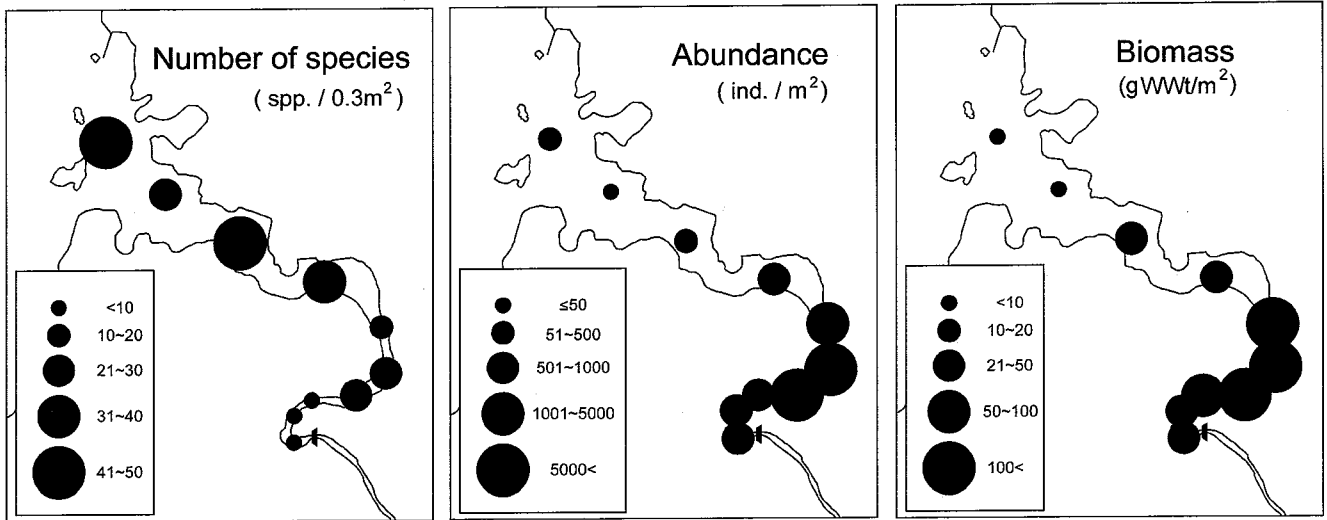


Fig. 3. Spatial distribution of total number of species, mean abundance and mean biomass of macrobenthos in Watancheon Estuary, Beobseongpo, southwest coast of Korea.

조사해역은 397 cm에 이르는 조차로 인해 해수 교환도 원활하게 일어나기 때문에 출현종수가 상대적으로 많은 것으로 보인다.

한편, 전 계절을 통해 염분이 상대적으로 높고 입도가 세립한 하구역 입구에서는 출현종수가 많고, 염분이 낮고 입도가 조립한 배수갑문 쪽으로 들어오면서 출현종수는 점차 감소하는 양상이었으나, 밀도는 오히려 중간지점인 정점 5, 6, 7에서 최대값을 나타내었다. 출현종수가 적는데 비해 높은 밀도를 보이는 것은 기수성 다모류인 *Minuspio japonica*와 옆새우류인 *Corophium sinense*, *Grandidierella japonica* 등이 높은 밀도로 출현하였기 때문이었다. 하구역에서는 담수와 함께 유입된 영양염으로 인해 생산력이 증가할 경우 저서동물의 출현종수와 밀도가 증가하는 것으로 알려져 있으며(Flint and Younk, 1983), 특히, 하구역 주변에 발달된 도시 혹은 농경지 등으로부터 공급되는 유기오염물이 저서생태계에 영향을 미치게 된다(Ansari et al., 1986). 그러나 본 해역에서는 높은 밀도를 나타내는 정점에서의 유기물 함량이 다른 정점에 비해 높지 않은 점을 고려하면 하구역의 특성인 염분과 퇴적상에 의한 영향을 고려해 볼 수 있겠다.

주요 우점종의 분포 양상

각 종별 평균 밀도가 전체 평균 밀도의 1% 이상을 차지하는 종은 5종이었으며, 0.1% 이상을 차지하는 종은 12종이었다. 상위 1% 이내에 속하는 우점종은 다모류 2종, 옆새우류 2종, 이매패류 1종으로 구성되어 있었다(Table 2).

다모류인 *Minuspio japonica*는 조사 기간동안 평균 3,070 개체/m²의 밀도로 출현하여 전체 밀도의 약 80%를 점유하였다. 이 종은 봄철에 최고 밀도를 나타내었으며, 겨울철에는 밀도가 감소하였다(Table 3). 전 계절을 통하여 담수의 영향이 적은 외해역으로 나오면서 밀도가 급격히 감소하는 양상을 나타내었으며, 정점 5, 6, 7에서 주로 출현하였다(Fig. 4). 이 종의 밀도가 높은 정점들의 퇴적상은 봄철에서 가을철까지는 사질이 우세하였으나, 겨울철에는 기존의 사질퇴적상 위에 약 5 cm 정도의 니질이 퇴적되었다.

그럼에도 불구하고 밀도는 높게 나타났다. 따라서 이 종은 퇴적 환경과는 상관 관계가 없는 반면, 저층 염분과는 음의 상관관계를 나타냄으로서 염분에 의해 공간분포 양상이 영향을 받는 기수성 종의 특성을 나타낸다(Table 4). 즉, 이 종이 주로 출현하는 정점들은 퇴적상이 여름철에는 조립화되고, 겨울철에는 세립화됨에도 불구하고 다른 인접 정점들에 비해 밀도가 높게 출현함으로써, 이 종은 퇴적상 보다는 염분에 의해 주로 분포가 제한됨을 나타내고 있다.

정 등 (1997)은 섬진강 하구역 조사에서 *M. japonica*는 평균 입도가 1.5φ이면서 염분이 상대적으로 낮은 20.15%, 펄 함량 6.6%인 장소에서 집중적으로 출현하고 다른 정점에서는 밀도가 낮기 때문에 분포 범위가 좁은 종으로 해석하였다. 외탄천 하구역에서도 정점 5, 6, 7에서만 집중적으로 출현하여 분포범위가 제한적이었다.

옆새우류인 *Corophium sinense*는 두 번째 우점종으로서, 평균 342 개체/m²의 밀도였는데 전체 밀도의 9%를 차지하였다(Table 2). 계절적으로 봄철에 밀도가 가장 높았으며, 그 밖의 계절에는 밀도가 높지 않았다(Table 3). 공간분포 양상은 봄철의 경우 입도가 조립하고 담수의 영향을 받는 정점 5에서 3,930 개체/m²로 최고치였고, 정점 6과 7에서도 2,750 개체/m² 이상의 밀도였다(Fig 4). 그러나 정점 1~4에서는 출현하지 않았다. 여름철에는 밀도가 급격히 감소하였으며, 정점 4와 5에서만 200 개체/m² 이하의 밀도로 출현하였다. 가을철에는 가장 낮은 밀도였으며, 겨울철에는 정점 2를 제외한 6개 정점에서 출현하였으며 정점 6에서 상대적으로 높은 밀도였다. 그러나 이 종은 환경 요인들과의 상관관계는 없는 것으로 나타났다(Table 4).

홍 등(1997)은 시화호 방조제 건설이 저서생태계에 미친 영향을 조사하면서, 시화호의 담수화가 진행되는 동안 10% 이하의 낮은 염분과 높은 용존산소량을 지닌 정점에서는 *C. sinense*가 전체 밀도의 95% 이상을 차지할 정도로 우점하였으나, 해수 유입에 따른 염분 증가로 인해 밀도가 다시 급감하는 현상을 보고하였다. 특히 시화호방조제 공사 전에는 일부 정점에서 4,735 개체/m²가 출현하였으며, 공사 후에도 평균 444 개체/m²의 밀도를 보고하였다.

Table 2. Dominant species of macrobenthos in Watancheon estuary, Beobseongpo during the studyperiod between June 1998 and January 1999

Species name	Abundance (ind./m ²)	No. of st. occurred	Percentage (%)	Cumulative %
<i>Minuspio japonica</i> (p)	3070	8	79.6	79.6
<i>Corophium sinense</i> (c)	342	8	8.9	88.5
<i>Grandidierella japonica</i> (c)	204	5	5.3	93.8
<i>Potamocorbula amurensis</i> (b)	82	7	2.1	95.9
<i>Hediste japonica</i> (p)	40	6	1.0	96.9
<i>Heteromastus filiformis</i> (p)	21	7	0.6	97.5
<i>Capitella capitata</i> (p)	13	3	0.3	97.8
<i>Nectoneanthes oxypoda</i> (p)	12	7	0.3	98.1
<i>Paraprionospio pinnata</i> (p)	9	1	0.2	98.3
<i>Pseudopolydora kempfi</i> (p)	9	7	0.2	98.5
<i>Lingula anatina</i> (br)	5	3	0.1	98.6
<i>Magelona japonica</i> (p)	5	2	0.1	98.7

p: polychaetes; b: bivalves; c: crustaceans; br: brachiopods

Table 3. Seasonal variations in the abundance of macrobenthos in Watancheon estuary, Beobseongpo

Species name	June 1998	Aug. 1998	Oct. 1998	Jan. 1999
<i>Minuspio japonica</i> (p)	7,314±19,318	2,828±4,831	1,633±2,437	1,178±2,120
<i>Corophium sinense</i> (c)	1,350±1,727	25±62	2±5	87±193
<i>Grandidierella japonica</i> (c)	24±54	842±923	25±63	1±3
<i>Potamocorbula amurensis</i> (b)	71±172	52±126	2±4	163±277
<i>Hediste japonica</i> (p)	37±94	39±59	1±3	68±81
<i>Heteromastus filiformis</i> (p)	55±118	15±25	2±4	15±47
<i>Capitella capitata</i> (p)	29±49	21±43	1±4	3±10
<i>Nectoneanthes oxypoda</i> (p)	1±3	37±86	-	10±18
<i>Paraprionospio pinnata</i> (p)	-	2±5	31±82	4±13
<i>Pseudopolydora kempfi</i> (p)	21±26	1±3	1±4	9±14
<i>Lingula anatina</i> (br)	19±44	-	-	1±1
<i>Magelona japonica</i> (p)	20±34	-	-	-

p: polychaetes; b: bivalves; c: crustaceans; br: brachiopods

그러나 외탄천 하구역에서 이들의 밀도가 높은 정점 5에서는 염분이 약 20‰ 이상으로서 시화호보다는 높게 나타남으로서 염분 적응 범위가 큰 특성을 보였다.

세 번째 우점종인 기수성 옆새우류 *Grandidierella japonica*는 전 계절 평균 204 개체/m²로서 전체 밀도의 약 5%를 점유하였다 (Table 2). 계절적으로 여름철에 밀도가 가장 높았으며 겨울철에는 밀도가 가장 낮았다 (Table 3). 봄철에는 정점 5와 6에서만 150 개체/m² 미만의 밀도로 출현하였으나, 여름철이 되면서 밀도가 급격히 증가하여 정점 7에서 2,373 개체/m²로서 가장 높았으며, 정점 4와 5에서도 각각 1,200 개체/m² 이상의 밀도였다 (Fig. 4). 그러나, 정점 6에서는 밀도가 낮았으며, 다른 정점들에서는 출현하지 않았다. 가을철이 되면서 정점 6에서 168 개체/m²가 출현하였는데, 겨울철에는 전반적으로 밀도가 급격히 감소하였으며 정점 7에서만 10 개체/m²가 출현하였다. 이 종은 우리나라의 다른 장소에서는 높은 밀도로 보고된 예가 없는 종으로서, 본 조사해역에서는 퇴적 환경과 높은 상관관계를 나타내었다. 특히, 모래 함량이 높고 분급이 불량할수록 높은 밀도로 서식하는 특성을 보였다 (Table 4). 따라서 모래함량이 적고 입도가 세립한 외해역이나 염분이 지나

치게 낮은 배수갑문 근처의 해역에서는 분포하지 않거나 분포밀도가 낮았다. 울산만에서도 담수의 영향을 받는 장소에서 우점적으로 출현함으로써 기수성의 특성을 나타내었다 (신 등, 2001).

또한 다모류인 *Hediste japonica*는 평균 40 개체/m²였으며, 전체 밀도의 1%를 차지하였다 (Table 2). 겨울철에 밀도가 상대적으로 높았으며, 가을철에는 낮았다 (Table 3). 이 종은 정점 6과 7에서 주로 우점적으로 출현하고 있었으며 하구역 입구에 위치한 정점들에서는 출현하지 않았다 (Fig. 4). 특히, 겨울철 조사에서는 배수갑문 바로 앞에 위치하여 염분이 20‰ 이하인 정점에서도 출현하였으며, 여름철의 경우에도 12‰인 정점 7에서도 30 개체/m²가 출현하였다.

*H. japonica*는 퇴적 환경과는 상관 관계가 없는 반면, 저층 염분과는 음의 상관관계를 나타냄으로서 염분에 의해 공간분포 양상이 영향을 받는 기수성 종의 특성을 나타내었다 (Table 4). 즉, 이 종이 주로 출현하는 정점들은 퇴적상이 여름철에는 조립화되고, 겨울철에는 세립화됨에도 불구하고 다른 인접 정점들에 비해 밀도가 높게 출현함으로써, 이 종은 퇴적상 보다는 염분에 의해 주로 분포가 제한됨을 나타내고 있다.

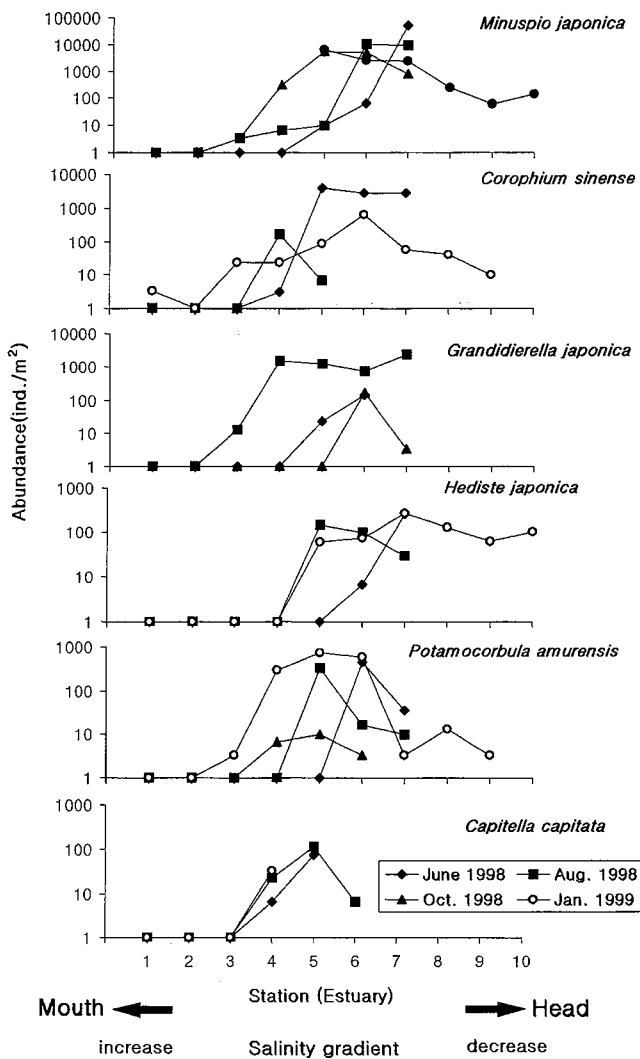


Fig. 4. Seasonal variations in the abundance of the major dominant species along the salinity gradients, Watancheon Estuary, Beobseongpo, southwest coast of Korea.

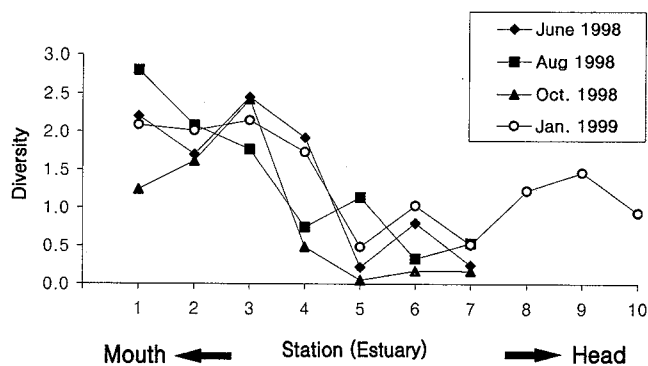


Fig. 5. Spatial and temporal variations in species diversity along the stations, Watancheon Estuary, Beobseongpo, southwest coast of Korea.

이때패류인 *Potamocorbula amurensis*는 전체 밀도의 약 2%를 점유하였다(Table 2). 겨울철에 출현한 밀도가 여타 계절에 비해 높았는데, 정점 5에서 729 개체/m²로서 최고치를 보였으며, 정점 4와 6에서도 300 개체/m² 이상이 출현하여 이들 정점들이 주 분포역이었다(Fig. 4). 또한 봄철에는 정점 6과 7에서만 각각 459 개체/m² 및 36 개체/m²의 밀도로 출현하였으며, 여름철에는 정점 5에서 출현밀도가 높았다. 그러나 하구역 입구에 위치한 정점 1과 2에서는 출현하지 않았다. 따라서 입도가 조립하고 염분이 낮은 기수역이 이들의 서식에 적합한 장소로 판단되지만, 퇴적환경과 저층 염분과는 상관관계를 나타내지 않았다(Table 4).

그 밖에 유기물 오염 지표종인 *Capitella capitata*도 3개 정점에서 출현하였는데 봄철과 여름철에 높은 밀도를 보였다(Tables 2, 3). 봄철에는 정점 5와 6에서 각각 76 개체/m² 및 119 개체/m²가 출현하였으며, 여름철에는 정점 5에서 116 개체/m²로서 가장 밀도가 높았다(Fig. 4). *C. capitata*는 모래함량과는 양의 상관관계를 보였으며, 입도, 분급, 실트 함량과는 음의 상관을 나타내었다(Table 4).

*Heteromastus filiformis*도 7개 정점에서 출현하였는데, 봄철의 평균 밀도가 높았다. 주 분포역은 정점 4로서 봄철에는 320 개체/m²의 밀도였으며 겨울철에는 149 개체/m²의 밀도였다. 한편 *Paraprionospio pinnata*는 가장 바깥쪽에 위치하여 담수의 영향이 적은 정점 1에서만 출현하였는데 가을철의 밀도가 상대적으로 높았다. 이 정점은 펄과 유기물의 함량이 다른 정점에 비해 상대적으로 높았다.

군집 구조

외탄천 하구역 입구인 외해역에 위치한 정점들에서는 출현종수가 많고 특정 우점종이 없을 뿐 아니라 밀도가 상대적으로 낮아 높은 다양도를 나타내었으며, 전 계절을 통하여 담수가 유입되는 배수갑문 쪽에 위치한 정점들로 갈수록 다양도는 낮아지는 양상이었다. 특히, 모래질 퇴적상이면서 밀도가 매우 높고 출현종수가 적은 정점 6과 7에서는 다양도도 상대적으로 낮게 나타났다(Fig. 5).

본 조사수역에서 출현한 저서동물의 밀도와 생체량은 퇴적환경 요인들과는 상관관계가 나타나지 않았으나 수괴의 저층 염분과 밀접한 상관관계를 가지고 있었다(Table 4). 즉, 염분증가에 따라 밀도와 생체량이 감소하는 음의 상관관계를 나타내었다. 다양도는 저층 염분과 양의 상관 관계를 나타내어 염분이 높은 외해역으로 나갈수록 다양도가 증가하는 양상이었다.

다양도의 공간 변동양상은 만경강 하구역의 저서동물 조사에서도 해수농도와 비슷한 장소에서는 다양도가 높았으며, 담수와 해수의 경계면에서는 다양성이 감소됨으로서 군집이 염분의 구배에 의해 영향을 받고 있음이 제시되었다(김, 1991). 한편 Cognetti and Maltagliati(2000)는 하구역은 해양환경과 담수환경의 추이대로서, 물리, 화학적 환경요소들이 불안정하다고 지적하고, 이러한 요소들이 특정종들에게 제한요인(limiting factor)으로 작용할 수 있으며, 특히 염분이 가장 중요한 역할을 수행한다고 지적하였다. 본 조사에서도 염분 농도와 높은 상관관계를 보이는 것은 밀도, 생체량 및 다양도였으며, 우점종에서도 *M. japonica* 및 *H. japonica*가 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 따라서 군집의 조절은 염분이 크게 관여하고 있음을 나타낸다.

그러나 본 조사해역의 특성상 풍수기 때 담수유입이 장시간 계속되어 저염분이 지속된다면 높은 밀도로 서식하던 기수종들의 대

Table 4. Spearman rank correlation coefficients between environmental and biological variables

	Sediment							Bottom Water
	IL (%)	POC (%)	mean (ϕ)	sorting (ϕ)	sand (%)	silt (%)	clay (%)	salinity (‰)
Number of species	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Abundance (ind./m ²)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0.67***
Biomass (g/m ²)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0.55*
Diveristy	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.73**
<i>Minuspio japonica</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0.84**
<i>Grandidierella japonica</i>	ns	ns	ns	-0.56*	0.51*	-0.68**	ns	ns
<i>Potamocorbula amurensis</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Hediste japonica</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-0.75**
<i>Nectoneanthes oxypoda</i>	0.53*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Corophium sinense</i>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Capitella capitata</i>	ns	ns	-0.57*	-0.54*	0.53*	-0.50*	ns	ns

* p<0.05, ** p<0.01, ns: not significant

량 폐사도 발생할 가능성이 있다. Nordby and Zedler(1991)도 *Capitellidae*와 *Polydora*가 우점한 하구역에서 강우 이후에는 밀도 감소현상이 나타남을 지적하였다.

한편, 각 정점별 출현종별 개체수 자료를 4계절 모두 합산하여 집괴 분석한 결과 담수가 유입되는 배수갑문 부근에 위치한 정점들에서부터 외해역의 입구역까지 4개 정점군으로 구분되었다(Fig.

6). 이들 정점군의 환경 및 생태학적 특성치들을 Table 5에 나타내었다. 정점군 A는 담수가 유입되는 장소로부터 가장 먼 곳에 위치하여 담수의 영향이 상대적으로 적은 정점 1과 2로 구성되었으며, 겨울철에 조사된 정점군 D를 제외하고는 가장 입도가 세립한 정점군이다. 모래질의 함량도 21%로서 다른 정점군에 비해 낮고, 실트 함량이 61%로서 가장 높다. POC 함량은 0.6%였으나 하구역

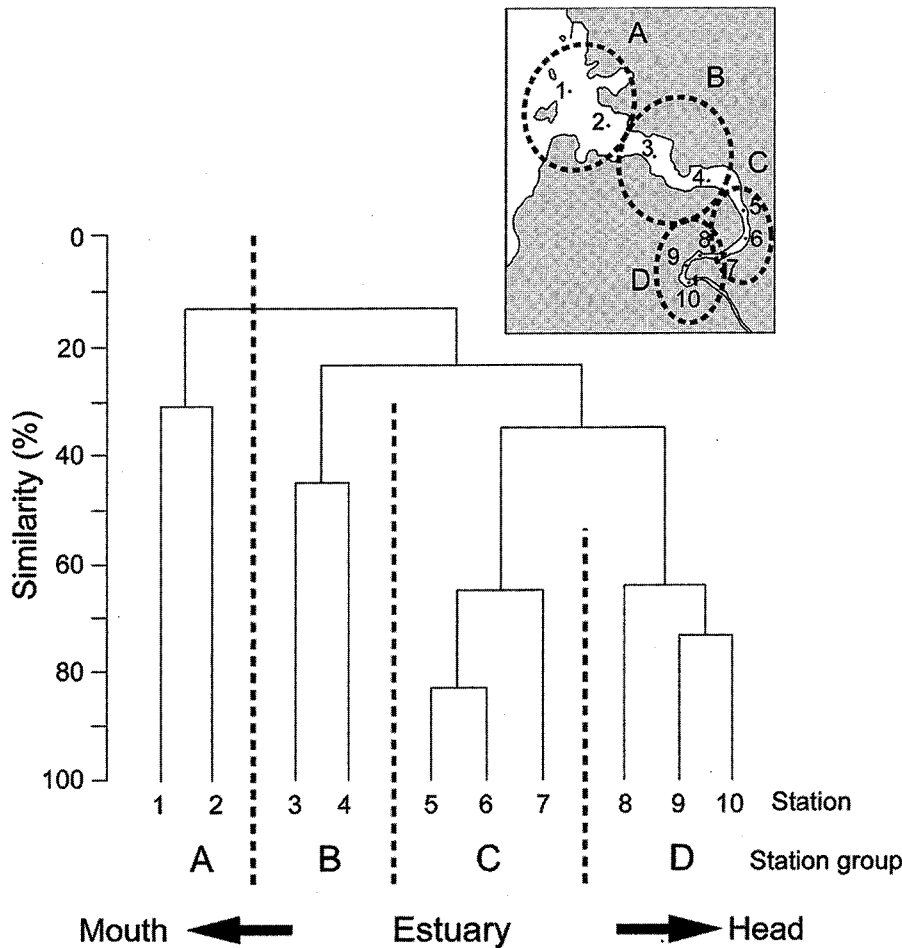


Fig. 6. Dendrogram showing station groups of the macrobenthic community located from the mouth to the head of the estuary recognized from the cluster analysis calculated on abundance of macrobenthos species occurred between May 1998 and January 1999.

Table 5. Ecological characteristics of four station groups at Watanchon estuary, Beobseongpo(p: polychaetes, m: molluscs, c: crustaceans, br: brachiopods)

Parameters	Group	A	B	C	D*
Station number		1, 2	3, 4	5, 6, 7	8, 9, 10
<i>Environmental (summer and winter)</i>					
Mean (ϕ)		5.04±1.12	4.82±1.70	3.48±2.83	6.35±0.11
Sand (%)		21.25±26.96	23.95±15.81	48.23±49.02	3.30±4.60
Silt (%)		61.28±26.34	53.40±14.92	38.10±39.32	70.20±8.18
Clay (%)		17.43±7.03	22.05±23.81	12.08±14.02	26.50±5.94
POC (%)		0.63±0.12	0.71±0.22	0.60±0.24	0.91±0.11
Salinity (surface, ‰)		30.82±0.70	29.82±1.51	22.29±6.33	17.32±0.45
(bottom, ‰)		31.05±0.77	30.16±1.01	24.16±5.28	19.91±0.62
<i>Ecological</i>					
Total number of species		57 (36±16)	64 (43±6)	35 (21±2)	13 (8±2)
Mean abundance (ind./m ²)		123±121	541±503	9,449±7,042	284±148
Mean biomass (g/m ²)		4.60±2.79	40.10±7.39	107.41±11.76	56.88±26.96
Diveristy		1.97±0.46	1.70±0.73	0.48±0.36	1.20±0.26
Evenness		0.84±0.17	0.63±0.25	0.21±0.14	0.58±0.07
<i>Dominants (ind./m²)</i>					
<i>Minuspio japonica</i> (p)		-	163±217	31,148±28,274	146±93
<i>Corophium sinense</i> (c)		2±2	114±110	3,408±607	17±21
<i>Grandidierella japonica</i> (c)		-	667±1,078	1,565±719	-
<i>Potamocorbula amurensis</i> (b)		-	155±215	728±588	6±7
<i>Hediste japonica</i> (p)		-	-	309±198	98±33
<i>Heteromastus filiformis</i> (p)		30±33	282±287	8±4	-
<i>Capitella capitata</i> (p)		-	31±44	108±101	-
<i>Nectoneanthes oxypoda</i> (p)		5±2	144±166	25±25	-
<i>Paraprionospio pinnata</i> (p)		135±191	-	-	-
<i>Pseudopolydora kempfi</i> (p)		12±2	48±35	46±42	1±2
<i>Lingula anatina</i> (br)		-	73±84	1±2	-
<i>Magelona japonica</i> (p)		35±49	35±49	-	-
<i>Glycinde gurjanovae</i> (p)		41±35	23±5	-	-
<i>Hemigranos penicillatus</i> (c)		-	36±19	1±2	1±2
Melitidae unid. (c)		2±2	33±9	-	-

*Three stations were surveyed in winter only (January, 1999).
- no occurrence

내측에 비해서는 그다지 높지 않다. 이 정점군에서의 표층 및 저층 염분은 30‰ 이상으로서 다른 정점군에 비해 가장 높아 담수의 영향이 적음을 나타낸다. 출현종수는 57종으로서 정점군 B보다는 적으나 평균 밀도가 낮아 다양도와 균등도는 정점군 가운데 가장 높게 나타난다(H=1.97, E=0.84). 특징적인 우점종은 다모류인 *P. pinnata*로서 다른 정점군에서는 출현하지 않고 정점 1에서만 출현하는 특징을 보였다.

정점군 B는 정점군 A보다는 조립한 퇴적상이지만 정점군 C에 비해서는 세립한 중간적인 평균 입도를 나타낸다(4.82 ϕ). 또한 모래질과 실트질의 함량이 각각 24% 및 53%로서 정점군 A와 C의 중간 값을 나타낸다. 점토와 POC 함량은 각각 22% 및 0.71%로서 정점군 D 다음으로 높았다. 표층 및 저층 염분은 약 30‰로서 정점군 A와 C의 중간값을 나타내었다. 출현종수는 정점군 가운데 가장 많은 64종이었으나 기수성 옆새우류인 *G. japonica*와 다모류인 *H. filiformis*의 우점적 출현으로 인해 다양도는 정점군 A보

다 낮은 값이었다(H=1.70).

정점군 C는 정점군 가운데 가장 입도가 조립하고(3.48 ϕ) 모래의 함량도 48%로 가장 높으며, 실트질과 점토질의 함량은 상대적으로 가장 낮다. 따라서 POC도 0.60%로서 정점군 가운데 가장 낮은 값이었다. 또한 저층 염분은 정점군 D보다는 높지만 24‰로서 적은 값을 나타내었다. 이러한 조립한 입도와 낮은 염분으로 인하여 3개 정점에서 4계절 동안 35종만이 출현하여 다른 정점군에 비해 적은 출현종수를 나타내었다. 그러나 밀도는 정점군 가운데 가장 높았으며(평균 9,449 개체/m²). 다양도와 균등도는 가장 낮은 값을 나타내었다(H=0.48, E=0.21). 이 정점군에서 극우점종은 다모류인 *M. japonica*였으며, 또한 옆새우류인 *C. sinense*와 *G. japonica*의 밀도도 정점군 가운데 가장 높게 나타나 기수성 종들이 주로 서식하는 정점군으로 볼 수 있다.

정점군 D는 겨울철에 추가로 조사된 정점군으로서 갈수기 때의 미세 퇴적물의 퇴적으로 인하여 정점군 가운데 가장 세립한 입

도를 나타내었다. 즉, 모래질의 함량은 가장 낮고, 실트질의 함량이 70% 이상으로 높게 나타났다. 또한 POC 함량도 정점군 가운데 가장 높지만 염분은 20‰ 이하의 매우 낮은 값이었다. 출현종수는 겨울철에만 조사되었기 때문에 가장 적은 13종이었으며, 밀도는 정점군 A보다는 높지만 정점군 B보다는 낮다. 또한 다양도는 정점군 A와 B보다는 낮은 양상이었다. 이 정점군에서는 정점군 C에서 극우점하였던 *M. japonica*가 우점종으로 출현하지만 밀도는 낮았다. 따라서 기수성 종들의 서식에는 상대적으로 부적합한 환경임을 제시하고 있다.

집괴분석 결과 구분된 각 정점군에서 출현한 출현종수는 정점군 간에 유의한 차이가 있었으며(Kruskal-Wallis Test: $H=8.77$, $p<0.05$), 이 가운데 정점군 B와 C 사이에서 유의한 차이가 인정되었다(Mann-Whitney U-test, $U=85$, $p<0.01$). 또한 밀도도 각 정점군 간에는 높은 유의차가 인정되었는데($H=23.43$, $p<0.001$), 정점군 A와 B($U=10$, $p<0.05$), 정점군 B와 C($U=1.0$, $p<0.001$), 정점군 C와 D($U=36$, $p<0.05$) 사이에서도 유의차가 인정되었다. 그러나 생체량에서는 정점군 간에 차이가 없는 것으로 나타났다($H=6.49$, $p>0.05$).

집괴분석 결과 구분된 4개의 정점군은 하구역 입구로부터 담수 유입장소인 배수갑문 근처에 이르는 정점 순으로 순차적으로 배열되는 특성을 보였다. 이러한 군집배치는 저서 환경 구배가 뚜렷한 내만 등에서 쉽게 발견되는 군집 배치이다. 즉, 내만 환경의 경우 만 입구에서 만 내측으로 들어가면서 입도가 세립해지고 퇴적물내의 유기물 함량이 높아지는 전형적인 특성을 나타내는데, 이 경우 만 입구에서부터 순차적으로 정점군이 배열된다(임과 홍, 1997; 임과 박, 1999). 담수가 유입되어 염분 변화가 뚜렷하고 갈수기와 풍수기 때의 퇴적환경 변화가 관찰되는 하구역에서는 퇴적환경과 저층 염분의 차이가 이러한 순차적인 정점군 배치에 영향을 미치는 요소로 볼 수 있다.

따라서 정점군 배치로부터 본 외탄천 하구역은 정점군 B와 C 사이가 기수성 종의 분포 경계로서 정점군 C는 담수 영향과 해수의 영향이 서로 공존하는 추이대(ecotone)로 볼 수 있다. 또한, 정점군 D는 담수의 영향이 커서 해양생물의 서식에는 제한이 따르며, 정점군 A와 B는 해수의 영향이 더 지배적인 군집으로 볼 수 있다. 따라서 담수의 영향을 상대적으로 많이 받는 정점군에서는 기수성 종이라 하더라도 밀도가 낮으며, 염분이 점차 증가하여 어느 일정 수준에 도달하면 상대적으로 높은 밀도로 기수성 종들이 출현하는 것으로 보인다. 그러나 이러한 양상은 염분이 더욱 증가하면서 기수성 종들의 밀도는 점차 감소하는 반면 출현종수는 증가하는 양상을 나타냄으로서 군집이 다양화되는 양상을 보이고 있다.

하구역에서의 생물 분포는 염분과 수온 및 기타 물리적 조건들에 대한 생물의 적응력의 차이에 따라 달라진다. Harvey *et al.*(1973)은 영국 Milford Haven 하구역에서 isopods의 분포를 논하면서 해역의 염분에 따라 32‰ 이상인 zone과 20‰ 이상인 zone으로 나누었는데, isopods의 주 분포는 종에 따라 염분 구역과 거의 일치하고 있음을 지적하였다. 본 연구에서도 정점군 B와 C의 저층 염분을 고려해 볼 때, 집괴분석 결과 나누어진 정점군은 이러한 zone과 유사한 성격을 나타낸다고 볼 수 있다(Table 5). 그러나 각 정점군에서 주요 우점종들의 밀도 및 분포는 이들 종의 염분에 대

한 내성 차이로 인해 향후 계절적으로 염분의 변화가 초래되면 변할 가능성이 있다.

결론적으로 하구역에 서식하는 저서동물에게는 다양한 무기 환경 요소들 가운데 염분이 기본적으로 중요한 제한 인자로서 역할을 한다. 또한 풍수기 때의 대량의 육수 유입시 미세 퇴적물의 침식으로 인해 모래 함량이 높은 퇴적환경이 되며 갈수기 때는 세립질 퇴적물의 비율이 높아진다. 따라서 하구역에서의 저서동물 공간 분포는 일차적으로 저층수의 염분에 의해 영향을 받으며, 이차적으로 퇴적상에 의해 영향을 받는다고 할 수 있다.

결론

서남해역에 위치한 범성포항 인근의 외탄천 하구역에서 저서동물의 공간 분포 특성을 파악하였다. 조사 기간 동안 총 114종이 출현하였으며, 평균 3,053 개체/m²의 밀도였는데 다모류가 출현종수의 39%, 전체 밀도의 83%를 차지하여 가장 우점한 분류군이었다. 또한 생체량은 58.23 g/m²이었는데 다모류와 연체동물이 전체 생물량의 51% 및 40%를 차지하여 우점함으로써 다모류 우점 군집임을 알 수 있다. 이 해역에서의 저서동물의 출현종 조성의 특징은 기수성 종들이 높은 밀도로 출현하고 있다는 것이다. 특히, 다모류인 *Minuspio japonica*, 옆새우류인 *Corophium sinense*, *Grandidierella japonica*, 이매패류인 *Potamocorbula amurensis*가 우점적으로 출현하였는데, 이들은 담수가 유입되는 배수갑문에서 약간 떨어진 중간지역에 위치한 정점들에서 집중적으로 출현하는 특성을 보였다. 또한 담수 유입원과 가까운 배수갑문 근처의 정점에서는 다모류인 *Hediste japonica*가 집중적으로 출현함으로써 염분 차이에 의한 독특한 생물 분포 양상을 보여주고 있다. 따라서 하구역 입구(mouth)에서는 다양도가 상대적으로 높았으나 담수 영향이 상대적으로 강한 하구역 내(head)로 들어올수록 다양도는 감소하는 양상이었다. 특히 담수의 영향을 받으며 모래질 퇴적상으로서 입도가 조립한 배수갑문 인접 정점들에서는 출현종수도 적을 뿐 아니라 다양도도 상대적으로 낮게 나타났다. 집괴분석 결과 정점군은 외해역에 위치한 정점들로부터 배수갑문 인접한 정점들까지 수로를 따라 순차적으로 배열되는 특성을 보였으며, 각 정점 간에는 출현종수와 밀도의 차이가 뚜렷하였다. 이러한 정점군의 배치는 수로를 통해 유입되는 담수로 인한 염분 구배 및 퇴적상에 따라 구획되는 특징을 나타내었다. 결론적으로 외탄천 하구역에 서식하는 저서동물의 공간분포는 다양한 무기 환경 요소들 가운데 일차적으로 저층수의 염분에 의해 영향을 받으며, 이차적으로 퇴적상에 의해 영향을 받고 있다고 할 수 있다.

참고문헌

- 국립지리원, 1983. 연안해역기본 조사보고서(범성포 지구). 60 pp.
 김지식, 1991. 만경강 하구의 저서동물과 서식환경에 관한 연구. 한국육수학회지, 24: 17-26.
 신현출, 윤성명, 고철환, 2001. 울산만과 온산만의 저서동물 군집의 공간 분포. 한국해양학회지-바다, 6: 180-189.
 임현식, 박경양, 1999. 반폐쇄적인 영산강 하구역 조하대 연성저질의 저서동물 군집. 한국수산학회지, 32: 320-332.
 임현식, 홍재상, 1997. 진해만 저서동물의 군집생태. 3. 군집구조.

- 한국수산학회지, **30**: 175-187.
- 장인권, 김창현, 1992. 낙동강 하구언 건설에 의한 연체동물상 및 갑각류상의 변화에 관한 연구. 한국수산학회지, **25**: 265-281.
- 정래홍, 홍재상, 이재학, 1997. 광양 제철소 건설을 위한 매립과 준설 공사 기간 중 저서 다모류 군집의 공간 및 계절 변화. 한국수산학회지, **30**: 730-743.
- 홍재상, 서인수, 이창근, 윤상필, 정래홍, 2000. 양양 남대천 하구역의 여름철 대형저서동물 군집의 생태학적 특성. 한국수산학회지, **33**: 230-237.
- 홍재상, 정래홍, 서인수, 윤건택, 최병미, 유재원, 1997. 시화방조제의 건설은 저서동물군집의 시·공간 분포에 어떠한 영향을 미쳤는가?. 한국수산학회지, **30**: 882-895.
- Ansari, Z.A., B.S. Ingole and A.H. Parulekar, 1986. Effect of high organic environment of benthic polychaete population in an estuary. *Mar. Pollut. Bull.*, **17**: 361-365.
- Boyden, C.R. and C. Little, 1973. Faunal distributions in soft sediments of the Severn estuary. *Estuarine and Coastal Mar. Sci.*, **1**: 203-223.
- Cognetti, G. and F. Maltagliati, 2000. Biodiversity and adaptive mechanism in brackish water fauna. *Mar. Pollut. Bull.*, **40**: 7-14.
- Copeland, B.J. and T.J. Bechtel, 1974. Some environmental limits of six Gulf coast estuarine organisms. *Contrib. Mar. Sci.*, **18**: 169-204.
- Day, J.H., 1981. The estuarine macrofauna. In: *Estuarine Ecology with particular reference to southern Africa*, edited by Day, J.H., Balkema, Rotterdam; pp. 147-178.
- Flint, R.W and J.A. Younk, 1983. Estuarine benthos: Long-term community structure variations, Corpus Christi Bay, Texas. *Estuaries* **6**: 126-141.
- Flint, R.W and R.D. Kalke, 1985. Benthos structure and function in a south Texas estuary. *Contrib. Mar. Sci.*, **28**: 33-53.
- Harvey, C.E, M.B. Jones and E. Naylor, 1973. Some factors affecting the distribution of estuarine isopods (Crustacea). *Estuarine and Coastal Marine Sci.*, **1**: 113-124.
- 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 River Estuary and Kyonggi Bay, Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **31**: 217-231.
- Nordby, C.S. and J.B. Zedler, 1991. Responses of fish and macrobenthic assemblages to hydrologic disturbances in Tijuana Estuary and Los Penasquitos Lagoon, California. *Estuaries*, **14**: 80-93.
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collection. *J. Theoret. Biol.*, **13**: 131-144.
- Pielou, E.C., 1984. *The Interpretation of Ecological Data*. Wiley, New York, 263 pp.
- Shannon, C.E and W. Wiener, 1963. *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. of Illinois Press, Urbana, 125 pp.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Fish. Res. Board of Canada, 310 pp.

2001년 6월 20일 원고접수

2002년 1월 18일 수정본 채택

담당편집위원: 나기환