

천수만 조하대 연성저질에 서식하는 저서동물 우점종의 분포 양상과 저서 환경

박흥식 · 강래선* · 이재학
 한국해양연구원 해양환경연구본부, *해양자원연구본부

Distribution Patterns of the Dominant Macrobenthos and the Benthic Environments on Subtidal Soft-bottom in Chonsu Bay, Korea

Heung-Sik PARK, Rae-Seon KANG* and Jae-Hac LEE
 Marine Environmental Research Department and Marine Resources Research Division*,
 KORDI, Ansan P.O.Box 29, Seoul 425-600, Korea

Dominant species of macrobenthos were analyzed based on differentiation of three distinct methods: the density based method, the biomass based method and LeBris method, by considering the frequency of occurrence using quantitative data collected over 5 years (1993-1998) at 21 stations in Chonsu Bay. Sedimentary environments as well as species composition and diversity showed the spatial and temporal distribution patterns. The ranks of dominant species as determined by the density based method, were more similar to the results by the LeBris method than to those from the biomass based method. Considering the temporal variation, LeBris method were more efficient than any other methods for the determination of dominant species in Chonsu Bay. *Lumbrineris longifolia*, *Theora fragilis*, and *Moerella jedoensis* were recognized by all three methods. A one-way analysis of variance indicated spatial distributions patterns among most of the dominant species. These species showed positive correlations to sedimentary parameters such as mean grain size. However, *T. fragilis* and *Paraprinospio pinnata* showed the temporal patterns in their distribution, and were also correlated to the benthic environment, organic content and dissolved oxygen. Some dominant species, e.g., *T. fragilis*, *S. scutata*, *G. gurjanovae* proved to be useful benthic indicators based on the environmental variations determined by long-term benthic ecological monitoring in Chonsu Bay.

Key words: Macrobenthos, Dominant species, Distribution, Chonsu Bay

서 론

우점종(dominant species)은 대상지역의 생태계를 형성하는데 있어, 군집 구조를 좌우하는, 종조성에 영향을 미치는 종으로 구성된다(Burd et al., 1990; Sarda et al., 1999). 또한 우점종은 군집에서 종간 상호작용의 핵심으로, 군집 구조뿐만 아니라 군집 안정도에도 영향을 주기 때문에(Fried et al., 2000), 우점종의 시·공간적 변동 양상은 대상 군집의 구조와 천이과정을 파악하는데 필요한 정보를 제공한다(Dobbs and Scholly, 1986). 따라서 군집 연구에 있어 우점종의 비중은 대상 해역 생태계의 안정도를 평가하고(Borja et al., 2003), 환경을 해석하는데 매우 중요한 역할을 하기 때문에(Pearson and Rosenberg, 1978; Fried et al., 2000), 우점종을 대상으로 생태적 지위 파악하기 위한 연구(Taghon, 1992)와 개체군 동태에 대한 연구가 수행되고 있다 (Bagheri and McLusky, 1982; Wilhelm and Hilbish, 1998). 아직까지 우점종은 주로 출현한 서식밀도의 관점에서 선정되고 있지만, 연구 목적에

따라 출현빈도 또는 생체량에 따라 선정하기도 한다(LeBris, 1988). 우리나라의 경우도 저서동물 군집 연구에 있어서 종조성과 더불어 우점종 동태에 대한 언급이 항상 이루어졌으며, 군집을 설명할 경우에 이들의 분포양상과 서식밀도에 비중을 두어 생태적 특성과 환경 자료 측정 결과를 대비하거나(Hong et al., 1995; Lim et al., 1995), 각 환경요인과 대상 우점종간의 상관관계를 평가하여 우점종의 시·공간적인 분포를 해석(Jung, 1998), 다변량 분석을 통해 군집내 우점종의 분포양상과 환경과의 관련성으로 군집을 해석하고 있다(Lim et al., 1999; Park et al., 2000a).

천수만은 1984년 서산 A와 B 지구 방조제가 완공되었고, 면적 감소에 따라 급격히 약해진 조류의 영향으로 저서환경에 직접적 영향을 미치는 퇴적상의 변화가 진행되고 있다(KORDI, 1994). 이러한 환경변화는 저서생물 군집 뿐만 아니라 우점종의 시·공간적인 서식 밀도 변화에도 영향을 미치고 있어서(Lee and Park, 1998; Park et al., 2000b), 연안개발에 따른 저서생태계의 장기적 동향 분석이 용이한 해역이다.

본 연구는 천수만에서 수행된 조하대 연성 저서동물 중

*Corresponding author: hspark@kordi.re.kr

우점종을 대상으로 선정 기준에 따른 차이점을 분석하고, 시·공간적 분포 양상을 파악함과 동시에 주요 저서 환경과의 상관분석 및 분산분석을 통해 천수만에서 저서동물 우점종의 생태 특성을 파악하는데 목적을 두었다.

재료 및 방법

현장 조사

현장 조사는 1993년 4월부터 1998년 11월까지 총 11회에 걸쳐 21개 정점에서 실시하였다(Fig. 1). 매 정점마다 van Veen 채니기(0.1 m²)를 사용하여 3회씩 퇴적물을 채집하였고, 선상에서 망목 1mm인 체를 사용하여 대형저서동물을 분리하였다. 잔존물은 10% 중성 해수 포르말린 수용액으로 고정된 후 실험실로 운반하였다. 생물 동정은 가능한 종 수준까지 수행하였다. 동정된 생물은 흡착지를 이용하여 생체 표면의 수분을 제거한 후 전자저울로 습중량을 측정하였다. 또한 현장 채집과 동시에 정점별로 수심, 수온 및 염분도, 저층 용존산소, 입도조성, 퇴적물내 유기물양 등을 측정하였다. 수심은 원활한 조석의 영향이 작용하는 지역이기 때문에 GPS에 의해 고정된 정점 좌표를 국립 해양조사원에서 발행한 전자해도 상에 측정된 수심도를 기준으로 산정하였다. 수온 및 염분도는 CTD (SBE-19)를 사용하여 생물 채집과 동시에 표층에서 저층까지 수직적인 분포를 측정하였으며, 저층 용존산소의 경우도 현장에서 DO meter (YSI-56)를 이용하여 측정하였다. 입도 분석은 표층 퇴적물에서 유기물과 탄산염을 제거한 후에 습식 체질을 하여 4φ 이상의 세립질 시료는 입도 분석기 (Sedigraph 5000D)를 사용하여 분석하였다. 퇴적물 내에 포함된 유기탄소는 냉동 건조된 퇴적물에 탄산염 광물을 제거한 후에 원소분석기(Carlo Erba CNS)로 정량 측정하여 유기탄소량과 황 성분량을 측정하였다.

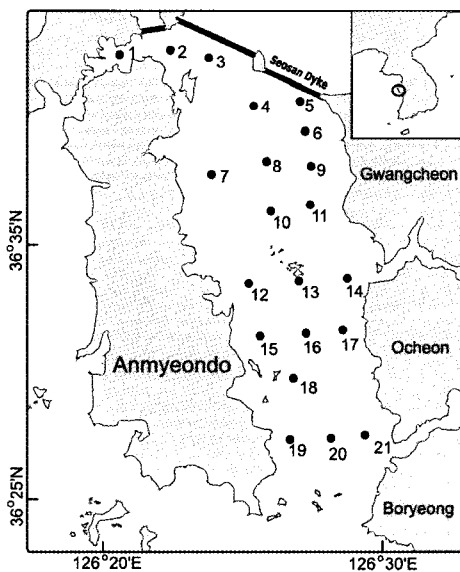


Fig. 1. Location of the sampling stations in the Chonsu Bay.

생물 자료 분석

우점종은 서식 밀도, 생체량, 개체수 대비 출현빈도 등 세 가지 방식을 적용하여 결정하였다. 서식밀도와 생체량에 의한 산정은 전체 출현 밀도 또는 생체량으로 합산하여 높은 서식 밀도를 나타낸 순으로 정리하였으며, 개체수 대비 출현 빈도는 Le Bris (1988) 방식을 적용하였다. 그러나 우점종간의 집괴 분석이나 시·공간적 분포 양상을 위한 통계처리는 서식밀도를 기준으로 한 자료를 사용하였다. 주성분분석(PCA)을 실시하여 정점에 따른 환경요인을 분석하였으며, 각 종의 시·공간적 분포양상을 알아보기 위해 일원배치분산분석을 실시하였으며, 각 정점에서의 변동은 Bartlett's test를 이용하여 비모수 검정을 실시하였다. 우점종과 저서 환경과의 상관분석에서는 Spearman rank correlation을 적용하였다. 통계분석은 Minitab R13을 활용하였다.

연구 해역

천수만은 황해 연안의 중부지역(북위 36°23'-36°37', 동경 126°20'-126°30')에 위치한 평균 수심 20 m 이내의 반 폐쇄적 구조의 천해성 내만이다. 총 면적이 380 km²이었으나, 1984년 서산 A와 B 지구 방조제가 완공되면서 약 150 km²가 육지 및 담수호가 되어, 현재는 약 180 km²로 감소하였다(KORDI, 1994). 매립사업은 홍보 지구와 남당항 확장 등 천수만내에서 지속적으로 이루어지고 있다(KORDI, 1998). 또한, 배수갑문을 통한 담수 배출이 비정규적으로 일어나면서 육상기원 유기물이 유입되고, 북쪽에 위치한 방조제 주변을 중심으로 가두리 양식장이 성행하고 있다. 담수의 배출시기에는 일정기간 북쪽해역 표층에 낮은 염분의 수괴가 형성하면서 담수성 플랑크톤이 관찰되기도 하며, 여름철 수온이 상승하면서 적조가 발생하고 있다(KORDI, 1992). 평균 조차는 4 m이고, 대조시에는 9 m 이상이 되는 경우도 있다. 방조제 건설 이전에 만 입구에서는 4-6 knot의 강한 조류가 발생하였으나(MST, 1978), 방조제 건설 후 유속은 현저히 감소하여 만내부에서 창조류가 1.2 knot, 낙조류가 1.9 knot로서 방조제 건설이 천수만내 조류 유통에 중요한 변화를 가져왔다(KORDI, 1994). 월별 기온 분포는 1월에 -0.9℃로 가장 낮게 나타났으며, 8월에 24.8℃로 가장 높았다. 강수량의 경우 월 평균 96.3 mm로 나타났으며, 연간 수온변화는 약 20℃ 정도로 나타났으며, 저층과의 수온 차는 1℃ 내외로 나타났으며(Park, 1998). 퇴적상의 경우도 방조제 건설 이전에는 니사질 퇴적상을 나타냈으나(NGA, 1977), 해수유통의 약화로 급속하게 니질 퇴적상으로 변하여 최근에는 천수만의 대다수 지역이 니질 퇴적상을 나타냈다(Lee and Park, 1998). 저서동물 연구는 보령화력 발전소 주변조사 등 간헐적인 연구가 수행되었으며, 1993년 이후 연안환경 변화에 따른 저서생태계 모니터링 차원의 조사가 수행되었다(Shim et al., 1988).

결 과

저서 환경 특성

평균 입도 분포는 3.6-8.5φ (평균 6.3φ)로 사질에서 니질에 이르는 다양한 퇴적상을 나타냈다(Fig. 2). 방조제에서 만 중앙부에 이르는 지역(정점 2-14)은 평균 8.0φ 이상의 니질 퇴적상을 나타냈으며, 간조시 사구(sand dune)가 드러나는 정점 7과 10, 배수갑문 부근 수로에 위치한 정점 9에서 조립한 퇴적상이 나타났다. 전반적으로 방조제에서 만 입구로 갈수록 조립해지는 것으로 나타났다. 계절별 평균 입도 편차도 세립질 퇴적상에서는 차이를 보이지 않았으나, 사구지역(정점 7, 10)이나 수로(정점 6, 9), 만입구 등에서는 평균 2φ 이상의 편차를 나타냈다. 표층 퇴적물에서 유기물 함량은 평균 3.7%로 나타났다. 주로 방조제 부근에서 높게 나타났으며, 입구로 갈수록 낮은 함량을 보였다. 사구지역 부근 정점에서 낮은 함량을 보였고, 계절적인 편차도 높게 나타났다(Fig. 2), 저서환경자료에 의한 정점별 주성분 분석에서도 입도조성, 유기물 함량, 용존산소 등에 의해 정점 간 공간적인 차이를 나타냈다(Fig. 3). 양 축에 81%의 높은 적재율을 보이면서, X축(Axis 1, 적재율 64.3%)을 따라 퇴적 환경에 의해 정점이 양분되는 양상을 보였다.

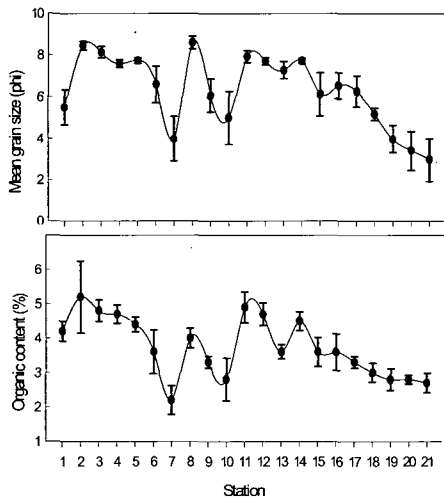


Fig. 2. Variation of mean grain size and organic content of surface sediment.

종 조성

8개 정점에서 15회, 13개 정점에서 11회에 걸친 조사 기간 중에 총 378종, 평균 서식밀도 964 개체/m²의 저서동물이 채집되었다. 정점별 종수는 방조제에서 만 입구로 갈수록 증가하는 양상을 보였으며, 정점 2와 5에서는 평균 10종 미만의 적은 종수를 나타냈다(Fig. 4). 서식밀도에서는 이러한 공간적인 구배를 나타내지 않았으며, 정점 4, 8, 13, 16 등 수로가 위치하지 않은 만 중앙부에 위치한 정점에서 상대적으로 높은 서식밀도를 나타냈으며, 계절적인 편차도 크게 나타났다(Fig. 4).

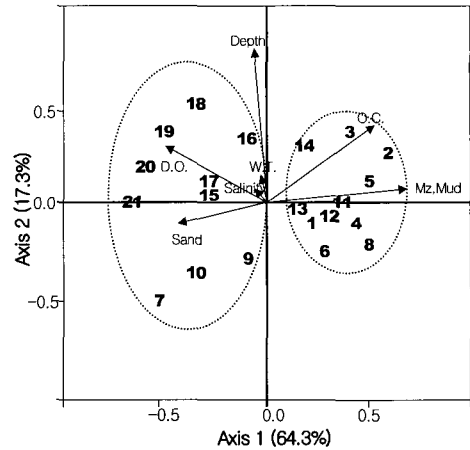


Fig. 3. Results of two dimensional PCA based on benthic environmental variables at all stations. (D.O., Bottom dissolved oxygen; O.C., Organic content on surface sediment; Mz, Mean grain size; W.T., Water temperature).

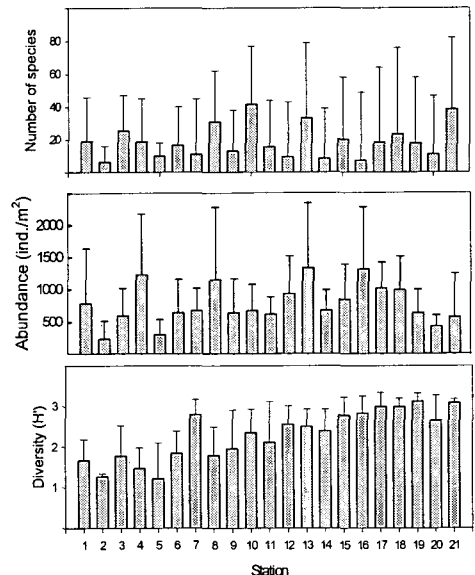


Fig. 4. Comparison of the number of species, abundance and diversity at each station.

생물 다양도(H')는 정점별 종수와 유사한 양상을 보여, 만 입구로 갈수록 높은 값을 나타냈으며, 방조제 부근이나 만 입구에서는 계절적인 편차가 적은 반면에 중앙부에서는 높게 나타났다(Fig. 4).

우점종 분포

전체 출현 서식밀도의 2% 이상을 나타낸 종은 모두 10종으로 이 중에 다모류가 8종으로 대다수를 차지하였으며, 이때 패류가 2종으로 나타났다(Table 1). 가장 높은 출현밀도를 보인 종은 다모류인 *Lumbrineris longifolia*로 정점 당 평균 127 개체/ m² (16.7%)를 나타냈고, 74.4%의 출현빈도를 나타냈다. 이매패류인 *Theora fragilis*는 평균 100 개체/ m² (13.3%)의 출현밀도와 69.9%의 출현빈도를 나타냈다. 다음으로 다모류

Table 1. Dominance ranking based on density by LeBris method (ga, gastropod; bi bivalve; po, polychaete; cr, crustacean)

Species	Taxa	Total Individuals	Mean Density (ind./m ²)	Proportion of total density (%)	Frequency Occurrence (%)
<i>Lumbrineris longifolia</i>	po	6,746	127	16.7	74.4
<i>Theora fragilis</i>	bi	5,344	100	13.3	69.9
<i>Paraprionospio pinnata</i>	po	2,562	48	6.4	58.0
<i>Sternaspis scutata</i>	po	1,377	26	3.4	48.3
<i>Heteromastus filiformis</i>	po	1,206	23	3.0	60.2
<i>Glycinde gurjanovae</i>	po	1,178	22	2.9	69.3
<i>Aricidea assimilis</i>	po	1,116	21	2.8	45.5
<i>Sigambra tentaculata</i>	po	1,020	19	2.5	79.0
<i>Mediomastus californiensis</i>	po	840	16	2.1	47.2
<i>Moerella jedoensis</i>	bi	819	15	2.0	54.5

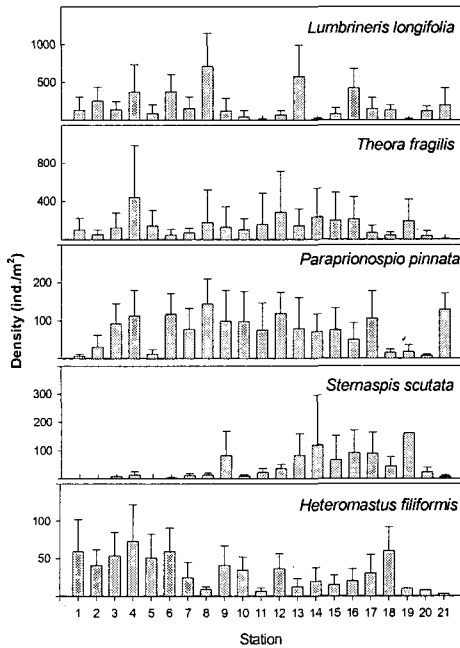


Fig. 5. Comparison of the densities of dominant species at each station.

인 *Paraprionospio pinnata*, *Sternaspis scutata*, *Heteromastus filiformis* 등이 각각 48, 26, 23 개체/m²의 출현밀도를 나타냈다. 시·공간적 분포에서, *L. longifolia*의 경우 모든 정점에서 출현한 것으로 나타났다(Fig. 5). 공간적으로는 주로 천수만 북쪽 지역 중 방조제와 죽도 사이에 위치한 지역에서 500 개체/m² 이상의 높은 서식밀도를 나타냈다. 계절적으로 대부분 정점에서 서식편차가 평균밀도와 유사하여, 계절적인 변동이 높은 것으로 나타났다. 이매패류인 *T. fragilis*의 경우도 만 입구에서 적은 서식밀도를 나타냈으며, 정점별로 평균 200 개체/m² 이상 출현한 정점에서는 계절적으로 높은 편차를 나타냈다. *P. pinnata*의 경우 천수만과 연결된 북쪽(정점 1,2)과 남쪽 입구(정점 18, 19, 20)에서는 각각 매우 20 개체/m² 이하의 적은 개체가 출현하였으며, 100 개체/m² 이상 출현한 대부분 정점에서 높은 계절적 서식 밀도 편차를 나타냈다. *S. scutata*는 천수만 중부지역에서 주로 서식하는 것으로 나타났다, 100 개체/m² 이상 출현한 정점(15, 17, 18)에서는

높은 계절적 편차를 보였다. 북쪽지역의 경우 전 계절을 통해 10 개체/m² 미만의 적은 개체가 출현하였다. *H. filiformis*는 방조제 부근이 위치한 북쪽해역에서 50 개체/m² 이상의 높은 서식밀도를 나타냈으며, 출현개체의 계절적인 변화도 상대적으로 적게 나타났다.

생체량을 기준으로 우점종을 평가한 결과 서식밀도에 의한 기준과는 상이한 양상을 나타냈다. 상위 10종에는 이매패류가 5종으로 높은 비중으로 차지하였으며, 다모류 2종, 극피동물 2종, 완족동물 1종이 출현하였다(Table 2). 이매패류인 *Mytilus galloprovincialis*는 정점 1, 7, 8, 17 등에서만 출현하였지만, 가장 높은 생체량을 나타냈다. 성게류인 *Echinocardium cordatum*과 이매패류인 *Macoma tokyoensis*는 총 11, 10개 정점에서만 출현하였으며, 출현 빈도는 각각 10.9%, 20.6%로 매우 낮게 나타났다. 시·공간적 분포에서 *E. cordatum*의 경우 정점 3에서 높은 출현량을 나타냈고, 주로 만 입구 쪽에서 출현하였다. 정점 2, 12, 17을 제외하고는 계절에 따라 비교적 유사한 생체량으로 나타났다(Fig. 6). *M. tokyoensis*는 방조제 부근에서 평균 10 개체/m² 이상 출현하였으며, 평균 20 gWWt/m² 이상 높은 생체량을 나타냈으며, 계절적인 편차도 높게 나타났다. 해삼류인 *Protankyra bidentata*는 만 중앙부에서 출현하여 평균 20 gWWt/m² 생체량을 나타냈으며, 계절적으로 10 gWWt/m² 이내의 적은 변동을 나타냈다. 이매패류인 *Moerella jedoensis*의 경우도 만 중앙부에서 입구 방향으로 주로 출현하였으며, 정점 9, 11, 16 에서는 평균 생체량 이상의 계절적 편차를 나타냈다.

대상 기준에 따른 우점종 비교

서식밀도, 생체량, 서식밀도와 출현빈도를 고려한 방식(LeBris index)에 의해 선정된 우점종을 비교한 결과, 다모류인 *L. longifolia*, 이매패류인 *T. fragilis*, *M. jedoensis* 등이 모든 방식에서 10위내에 포함된 종으로 나타났다(Table 3). 서식밀도를 고려한 방법과 서식밀도와 출현비도를 고려한 방법의 경우 10위내 포함된 종 중에 9종이 순위에서는 차이를 보이지만 동일한 종으로 나타나, 서식밀도가 높게 나타난 종의 대부분이 출현빈도에서도 높은 양상을 나타냈다. 반면에 생체량을 기준으로 한 우점종의 경우 서식밀도나 출현빈도를 고려한 방식과는 전혀 상이한 종으로 구성되고 있는 것으로

Table 2. Dominance ranking based on wet weight of macrobenthos by LeBris method (bi, bivalve; ec, echinoidean; ho, holothuroidean; po, polychaete; br, brachiopod)

Species	Taxa	Total weight (gWWt)	Biomass (gWWt/m ²)	Proportion of total weight (%)	Frequency Occurrence (%)
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	bi	1,017	559	27.1	3.4
<i>Echinocardium cordatum</i>	ec	745	129	19.9	10.9
<i>Macoma tokyoensis</i>	bi	383	35	10.2	20.6
<i>Protankyra bidentata</i>	ho	371	42	9.9	16.6
<i>Moerella jedoensis</i>	bi	198	7	5.3	54.3
<i>Fulvia mutica</i>	bi	63	30	1.7	4.0
<i>Theora fragilis</i>	bi	60	2	1.6	69.7
<i>Coptothyris grayi</i>	br	56	37	1.5	2.9
<i>Lumbrineris longifolia</i>	po	44	1	1.2	74.3
<i>Lumbrineris heteropoda</i>	po	37	6	1.0	11.4

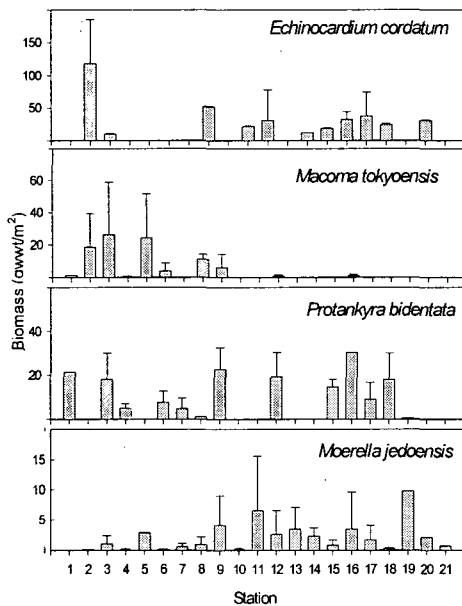


Fig. 6. Comparison of the biomass of dominant species at each station.

나타났다.

우점종의 시·공간적 특성 및 환경 요인과의 상관관계 서식밀도와 출현빈도가 높게 나타난 우점종을 대상으로 정점별 출현개체수를 대상으로 시·공간적인 분포특성을 알아보기 위해 일원배치 분산분석을 실시한 결과, *S. scutata*, *G. gurjanovae*, *A. assimilis*, *S. tentaculata*, *M. jedoensis* 등은 천수만에서 공간적인 특성이 분포를 좌우하는 것으로 나타났으며, *T. fragilis*, *P. pinnata*의 경우 계절에 따른 서식밀도가 좌우되는 시간적 분포특성이 있는 것으로 나타났다(Table 4). 한편, 분산분석 결과, 전 정점에서 출현을 보인 *L. longifolia*와 *H. filiformis*의 경우 계절적 또는 공간적인 분포 특성을 나타내지 않았다. 이들의 시·공간적 분포 특성의 요인들이 저서 환경과의 상관성을 알아보기 위한 조사에서, 종마다 일부 환경 변수와의 상관관계에서는 공간적으로 분포 양상을 보이는 종들의 경우 주로 퇴적물 입도와 상대적으로 높은 상관관계를 나타냈다(Table 4). 또한 시간에 따른 분포 변동을 보인 *T. fragilis*,

P. pinnata 등은 퇴적물내 유기물 함량(0.29, $p < 0.01$; 0.20, $p < 0.05$)과 상대적으로 상관성을 나타냈으며, *T. fragilis*의 경우 유일하게 저층 용존산소(0.28, $p < 0.01$) 등과 양의 상관성을 나타냈다. 또한 공간적 분포 특성을 보인 우점종의 경우 군집내 종 다양도와도 높은 상관성을 나타냈으며, 수심의 경우 *P. pinnata*와 *G. gurjanovae* 등이 상대적으로 수심이 깊은 만입구나 수로등지에서 적은 출현 밀도를 나타내면서 음의 상관관계를 나타냈다.

고찰

지금까지 저서동물 군집연구에서 서식밀도와 분포 양상에서 중요한 영향을 미치는 요인으로는 퇴적 환경이 언급되고 있다. 퇴적 환경은 해수 유동 등 물리적인 요인에 의해 영향을 받기 때문에 퇴적물은 물리, 화학적 환경에 대한 전반적인 상황이 내포되어 있다(Warwick and Uncles, 1980; Snelgrove and Butman, 1994). 천수만은 방조제 건설로 인한 전반적인 해양환경 변화가 군집구조에 중요한 요인이 되고 있으며, 해수 유동 및 유속의 변화가 퇴적상 공간분포 등 저층에 직접적인 영향을 미치고 있다(Park, 1998). 퇴적 환경을 대상으로 한 정점별 주성분 분석에 의해 실시한 결과에서도 정점별 환경 특성이 니질 함량, 유기물 함량 등 퇴적상과 밀접한 관계를 보이는 것으로 나타났다. 수온, 염분도 등 수괴 특성은 계절적인 차이를 일부 나타냈지만 공간적으로는 유사한 양상을 나타내고 있어서 환경구배를 설명하는데 큰 의미를 나타내지 못하였다. 평균입도에서 계절적인 편차를 보인 정점 6, 7, 9, 10의 경우 수로 주변에 위치한 정점으로 니질 퇴적상에서 혼합퇴적상에 이르는 복잡한 퇴적환경이 조밀하게 형성된 지역이다. 따라서 Fig. 2에서 나타난 이들 정점의 계절적인 퇴적상 변화는 시간에 따른 변화 양상이기보다는 복잡한 퇴적상 구성에 의해 조사에서 나타나는 지역적 특성에 의한 결과를 고려해야 한다. 이러한 지역의 경우 실제로 종 조성에서도 차이를 보이고 있어 'heterogeneity state' 라고 불리는 독특한 해역으로 저서동물 군집에 의한 장기적 모니터링이나 환경변화에 대한 영향 등을 파악하기 어려운 지역이다(Sanders, 1968; McCall and Tevesz, 1982). 이러한 특성을 지닌 해역에서 단기

Table 3. Comparison of the dominant ranking between density, biomass and Le Bris method (br, brachipod; bi, bivalve; po, polychaete; ho, holothuroidean; ec, echinoidean)

Rank	Density based		Biomass based		Le Bris method based	
1	<i>Lumbrineris longifolia</i>	po	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	bi	<i>Lumbrineris longifolia</i>	po
2	<i>Theora fragilis</i>	bi	<i>Echinocardium cordatum</i>	ec	<i>Theora fragilis</i>	bi
3	<i>Paraprionospio pinnata</i>	po	<i>Macoma tokyoensis</i>	bi	<i>Paraprionospio pinnata</i>	po
4	<i>Sternaspis scutata</i>	po	<i>Protankyra bidentata</i>	ho	<i>Sigambra tentaculata</i>	po
5	<i>Heteromastus filiformis</i>	po	<i>Moerella jedoensis</i>	bi	<i>Glycinde gurjanovae</i>	po
6	<i>Glycinde gurjanovae</i>	po	<i>Fulvia mutica</i>	bi	<i>Heteromastus filiformis</i>	po
7	<i>Aricidea assimilis</i>	po	<i>Theora fragilis</i>	bi	<i>Sternaspis scutata</i>	po
8	<i>Sigambra tentaculata</i>	po	<i>Coptothyris grayi</i>	br	<i>Aricidea assimilis</i>	po
9	<i>Mediomastus californiensis</i>	po	<i>Lumbrineris longifolia</i>	po	<i>Moerella jedoensis</i>	bi
10	<i>Moerella jedoensis</i>	bi	<i>Lumbrineris heteropoda</i>	po	<i>Nephtys polybranchia</i>	po

Table 4. Summary of distribution and correlations between environmental factors and biological variable of dominant species (distribution data results for one-way ANOVA, +, P<0.05; ++, P<0.01; +++, P<0.001; correlations result for Spearman rank correlation, *, p<0.05; **, P<0.01; P<0.001; H', diversity index).

Species	Results by one-way ANOVA		Results by correlation analysis				
	Spatial distribution	Seasonal distribution	H'	Sediment grain size	Organic content	Dissolved oxygen	Depth
<i>Lumbrineris longifolia</i>		+		0.30***	0.24**		
<i>Theora fragilis</i>		+++		0.34***	0.29**	0.28**	
<i>Paraprionospio pinnata</i>		++	0.18*		0.20*		-0.30***
<i>Sternaspis scutata</i>	+++		0.40***	0.33***			-0.18*
<i>Heteromastus filiformis</i>							
<i>Glycinde gurjanovae</i>	++		0.32***	0.24*			-0.39***
<i>Aricidea assimilis</i>	+++		-0.22**	-0.24**			
<i>Sigambra tentaculata</i>	++			0.32***	0.25*		
<i>Moerella jedoensis</i>	+++	+	0.32***	-0.27**			-0.16*

적 조사를 실시할 경우에는 환경 특성이나 종조성에서 계절적인 변화가 크다고 해석될 수 있으며, 실제로 군집구조가 단기적인 시간 변화 따라 빠른 변화를 보인다고 해석할 수도 있다.

이번 연구에서는 비교적 장기간의 조사 기간으로 인하여 총 출현 종수에서 높게 나타났다. 천수만 해역에서 수행된 저서동물 조사에서 Lee and Park (1998)의 경우 53개 정점에서 한차례 실시하여 273종을 보고 하였으며, Park et al. (2000a)의 경우 25개 정점에서 4회 실시한 조사에서 311종을 보고하였다. 우리나라 연안에서 실시한 저서동물 조사에서도 물론 조사 해역과 반복수에 따라 차이를 나타내지만 300종 이상 출현한 경우는 매우 드문 경우로서 임(1993)에 3년에 걸친 진해만 조사에서도 287종이 출현한 것으로 비교해 보면, 천수만 지역이 다양한 서식환경을 나타내고 있음을 시사한다. 동일 정점에서 계절에 따라 종수의 차이가 높게 나타난 정점 10, 13, 21 등 지역은 주로 만 입구나 수로가 형성된 지역으로서, 수로 해역의 경우 위에서 언급한 작은 규모의 다양한 퇴적환경에 의한 영향을 고려할 수 있으며, 만 입구의 경우 외부로부터 유입이 원활하게 이루어질 수 있는 상대적으로 높은 잠재성을 지닌 지역이기 때문으로 보여진다. 실제로 조석의 흐름이 원활한 해역의 경우 무척추동물의 확산이나 가입에 매우 중요한 역할을 하고 있기 때문이다(Dobb and Vozaik, 1983; Miller et al., 1992).

대상 해역에서 우점종을 선정하기 위해서는 장기적 조사를

통한 자료 축적이 필수적으로 요구되는 부분이다(Beukema 1988; Warwick and Clarke, 1994, 2001). 즉, 단기간에 적은 빈도로 조사된 경우에는 특정 계절에 나타나는 일시적 대량 가입이나, 급격한 환경변화로 인한 기회종이 우점종으로 나타날 수 있다. 한편 생태계 내에서의 기능적 측면도 고려되어야 할 것이다. 해수의 유동이 상대적으로 원활하지 못한 내만의 경우 물리적·지화학적 특성에 의해 공간적으로 영향을 받게 되므로(Snelgrove and Butman, 1994), 저서동물군집은 우점종의 비중이 다른 해역에 비해 상대적으로 높게 나타날 수 있으며, 계절에 따른 환경 변화에 의해 우점종의 서식밀도 및 분포 양상이 영향을 받게 된다(Warwick and Uncle, 1980). 한편, 우점종을 선정하는 방식은 주로 서식밀도를 기준으로 이루어지고 있다. 서식밀도를 기준으로 하는 경우 안정되지 못한 환경을 나타내는 해역에서는 기회종 가입이 우점종의 순간적 변화에 반영 되므로 장기적 군집변화 조사에서 출현빈도는 저조하지만 조사 기간에 따라 우점종으로 나타날 수 있다. 본 연구에서 나타난 상위그룹에 속하는 우점종인 *L. longifolia*, *T. fragilis*, *H. filiformis*, *S. scutata*, *P. pinnata* 등은 기회종으로 알려져 있으나(Jung, 1998; Lim, 1993), 서식밀도와 출현빈도를 고려한 분석에서도 서식밀도만으로 선정한 우점종의 종 순위와 유사한 것은 천수만에서 일정 공간이나 계절적으로 대량 출현하기 보다는 포괄적인 분포와 서식밀도를 보이고 있다고 해석할 수 있다. 그러나 군집 내 종조성을 비교하기

보다는 에너지 수지나, 생산성을 비교하기 위해서는 생체량을 기준으로 분석하기도 한다(Holmes and McIntyre, 1984; Dobbs and Scholly, 1986). 생체량을 기준으로 하는 경우 종의 개체 무게가 큰 종의 비중이 월등히 높아지기 때문에 이매패류나 성게류, 서식양상에 있어 군락을 형성하는 경우 소수 지역에서 출현함에도 불구하고, 우점종으로 나타날 수 있다. 실제로 *M. galloprovincialis*, *E. cordatum*의 경우 출현빈도가 각각 3%, 11% 이내 임에도 우점종으로 나타나, 군집에서 정의하는 우점종의 개념과 다소 차이를 보이는 관점으로 해석할 수 있다.

천수만에서 높은 서식밀도와 출현빈도를 나타내 우점종으로 선정된 종 중에 상당수가 유기물 오염이 증가하는 지역에 나타나는 오염지시종으로 알려져 있다. *L. longifolia*의 경우 유기물 오염이 심한 내만역에서 매우 높은 밀도로 출현하며, 진해만 등 반폐쇄성 만에서는 가장 높은 출현밀도를 나타낸다(Lim and Hong, 1997; Jung, 1998). 또한 퇴적상에서는 유기 오염이 상대적으로 높은 니질 퇴적상 보다는 분급도가 불량한 혼합퇴적상에서 높은 출현하는 것으로 알려져 있다(Yi et al., 1982; Shin et al., 1992). 그러나 Table 4에서 나타난 결과에서는 시·공간적인 출현 특성을 나타내지 않았으며, 조립한 퇴적상과 높은 상관성을 나타낸 반면, 유기물 함량과도 음의 상관관계를 나타냈다. 이러한 결과는 서식환경에 있어 앞서 연구된 결과와 유사한 양상을 보이고 있으나, 전 정점에서 출현하면서 계절에 따른 정점별 서식밀도 변화폭이 유사하게 나타나고 있어, 분석 결과에서는 시·공간적 개념의 분포 양상을 보이지 않는 것으로 나타나고 있다. 이와 유사한 양상을 보인 종으로는 *H. filiformis*는 분산분석에서도 시·공간적 특성을 나타내지 못하였으며, 측정된 환경변수와의 전혀 상관성을 나타내지 못했다. 이 종은 전 세계에 분포하며, 유기물 오염에 대표적인 종으로 알려져 있다(Wolff, 1973; Grassle and Grassle, 1974). 니질 퇴적물로 구성된 지역에서 일정량의 유기물이 축적되는 경우 계절성에 관계없이 일정 서식밀도를 나타내는 것으로 알려져 있다(Jung, 1998). 이러한 생태적 특성이 본 조사에서도 시·공간적인 유의성이나 환경변수와의 상관성을 감지하지 못한 것으로 생각된다. 한편 만 중앙부를 중심으로 서식하는 우점종이 공간적인 특성을 나타냈다.

반면에 *T. fragilis* 등 기회종이 여름철에 방조제 부근에서 집중적으로 출현하면서, 계절적 특성을 나타냈으며, 이 종은 세립한 퇴적상을 보이면서, 유기물 함량이 높은 지역을 선호하는 종이다(Poore and Kudenov, 1978). 주로 퇴적물 유기 오염이나 계절적인 산소결핍 현상과 관련이 있으며, 치패의 착저와 생존은 저층수괴의 용존산소에 따라 영향을 받는다(Kikuchi and Tanaka, 1976). 따라서 Table 4에 언급한 환경 변화와의 상관관계에서도 니질 함량, 용존산소, 유기물 등과 상대적으로 높은 상관관계를 나타냈다. 이러한 우점종에 따른 시·공간적인 분포 양상은 종의 서식특성을 예측할 수 있지만, 궁극적으로 천수만의 환경특성을 평가할 수 있다. 천수만은 방조제 건설 이후 조류 속도의 감소로 인한 저서환경의

변화가 나타나면서, 방조제 부근의 경우 상대적으로 해수 교환이 원활치 않으며, 만 입구에서 중앙부에 이르는 해역의 경우 조석의 영향으로 환경 변화와 더불어 유생의 확산이 일어나, 우점종의 경우 공간적으로 분포 범위를 보이면서 안정된 서식 공간을 확보하고 있는 것으로 해석할 수 있다. 본 연구에서 천수만 해역의 우점종을 크게 3가지 유형을 구분해 보면, 연중 전 해역을 대상으로 출현하는 종(*L. longifolia*, *H. filiformis*), 계절에 따라 출현밀도가 영향을 받는 종(*T. fragilis*, *P. pinnata*), 공간적인 서식 구배를 보이는 종(*S. scutata*, *G. gurjanovae*, *A. assimilis*, *S. tentaculata*, *M. jedoensis*)로 나누어 볼 수 있다. 비교적 장기간 수행된 조사에 의한 결과는 Park et al. (2000)에 의한 1년간 계절조사에 의한 군집별 우점종 분포와 유사한 양상을 나타냈다. 이러한 결과는 천수만 해역의 경우 전반적으로 공간적 구배를 보이는 우점종이 우세하기 때문으로 해석할 수 있다. 그러나 Lee and Park (1998), Park et al. (2000a)의 경우 단기간 조사를 통해 천수만 해역이 여름철 저층 용존산소고갈이나 담수 유입 등 불안정한 환경 변화가 안정되지 못한 군집을 유지하는 것으로 주장하였으나, 우점종의 서식밀도와 출현 빈도를 근거로 한 장기적 조사를 통하여 만 중앙부를 중심으로 한 공간적으로는 안정된 서식지위를 나타내고 있는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 일부 우점종의 경우 서식밀도나 서식 유무를 파악함으로써 대상 해역에서의 군집 및 환경 모니터링을 수행할 수 있는 지표종으로 사용할 수 있을 것으로 예상된다.

사 사

이 연구는 한국해양연구원의 기본연구사업인 “연안역 통합 관리를 위한 해양환경변화특성 규명 - 천수만(PE92200)”의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Bagheri, E.A. and D.S. McLusky. 1982. Population dynamics of oligochaetes and small polychaetes in the polluted forth estuary ecosystem. *Neth. J. Sea Res.*, 16, 55-66.
- Beukema, J.J. 1988. An evaluation of the ABC-method (abundance/biomass comparison) as applied to macrozoobenthic communities living on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Mar. Biol.*, 99, 425-433.
- Borja, A., I. Muxika and J. Franco. 2003. The application of a marine biotic index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. *Mar. Poll. Bull.*, 46, 835-845.
- Burd, B.J., A. Nemeč and R.O. Brinkhurst. 1990. The development and application of analytical methods in benthic marine infaunal studies. *Adv. Mar. Biol.*, 26, 169-233.

- Dobbs, F.C. and J.M. Vozarik. 1983. Immediate effects of a storm on coastal infauna. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 11, 273-279.
- Dobbs, F.C. and T.A. Scholly. 1986. Sediment processing and selective feeding by *Pectinaria koreni* (Polychaeta: Pectinariidae). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 29, 165-176.
- Fried, C.L.J., K.G. Harwood, S.J. Hall and J.A. Hall. 2000. Long-term changes in the benthic communities on North Sea fishing grounds. *ICES J. Mar. Sci.* 57, 1303-1309.
- Grassle, J.F. and J.P. Grassle. 1974. Opportunistic life histories and genetic systems in marine benthic polychaetes. *J. Mar. Res.*, 32, 253-284.
- Holme, N.A. and A.D. McIntyre. 1984. *Methods for the Study of Marine Benthos*. Blackwell Sci. Pub., 1-372.
- Hong, J.S., J.W. Yoo and H.S. Park. 1995. Niche characterization of the three species of genus *Ophiura* (Echinodermata, Ophiuroidea) in Korean waters, with special emphasis on the distribution of *Ophiura sarsi vadicola* Djakonov. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 30, 442-457.
- Jung, R.H. 1998. Effect of the coastal zone development on the marine benthic ecosystem with special reference to the benthic polychaete community in Kwangyang Bay, Korea. Ph.D Thesis, Inha Univ., 1-304.
- KMA (Korea Meteorology Agency). 1990-1994. Annual Climatological Report.
- KORDI (Korea Ocean Research Development Institute). 1978. A Preliminary Marine Ecological Study for Gojeong-Ri Power Plant Site. BSPI 00014-14-3, 1-138.
- KORDI (Korea Ocean Research Development Institute). 1992. A study of the marine ecosystem on the effects of coastal zone development. BSPG 00158-464-3, 1-93.
- KORDI (Korea Ocean Research Development Institute). 1994. A study of the marine ecosystem on the effects of coastal zone development. BSPN 00239-737-3, 1-306.
- KORDI (Korea Ocean Research Development Institute). 1998. A study of the marine fishery grounds in Chonsu Bay. BSPG 96256-00-1063-3, 1-900.
- Kikuchi, T. and M. Tanaka, 1976. Some aspects on the ecology of a short-lived semelid bivalve, *Theora lata* (Hinds), with special reference to its opportunistic life history. *Physiol. Ecol.*, 17: 261-271.
- LeBris, H. 1988. Fonctionnement des ecosystems benthiques cotiers au contact d'estuaires: l'arade de Lorient et la baie de Vilaine. These doc., Univ. Bretagne Occidental, Brest.
- Lee, J.H. and H.S. Park. 1998. Community structures of macrobenthos in Chonsu Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 33, 18-27.
- Lim, H.S. 1993. Ecology on the macrozoobenthos in Chinhae Bay of Korea. Ph.D. Thesis, Natl Fish. Univ. Pusan, 1-300.
- Lim, H.S., J.S. Hong and J.G. Je. 1995. Abundance and distribution pattern of the Smelid bivalve, *Theora fragilis* A. Adams in Chinhae Bay, Korea. *Kor. J. Malacol.*, 11, 21-34.
- Lim, H.S. and J.S. Hong. 1997. Ecology of the macrozoobenthos in Chinhae Bay, Korea 2. Distribution pattern of the major dominant species. *J. Kor. Fish. Soc.*, 30, 161-174.
- 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. Kor. Soc. Oceanogr.)*, 4, 80-92.
- McCall, P.L. and M.J.S. Tevesz. 1982. Animal-sediment relations the biogenic alteration of sediments. Plenum Press, New York, 1-336.
- Miller, D.C., M.J. Bock and E.J. Turner. 1992. Deposit and suspension feeding in oscillatory flows and sediment fluxes. *J. Mar. Res.*, 50, 489-520.
- MST (Ministry Science Technology). 1978. Pre-feasibility study of tidal power plant at Cheonsu Bay, 1-171.
- National Geology Agency. 1977. Reports on geographical survey on the coastal area, Yellow Sea, 1-56.
- Park, H.S. 1998. Effects of dike construction on benthic environment and macrofaunal community in Chonsu Bay, Korea. Ph.D. Thesis, Inha Univ., 1-226.
- Park, H.S., H.S. Lim and J.S. Hong. 2000a. Spatio- and temporal patterns of benthic environment and macrobenthos community on subtidal soft-bottom in Chonsu Bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, 33, 262-271.
- Park, H.S., J.H. Lee, and J.W. Choi. 2000b. Spatio-temporal distributions of macrobenthic community on subtidal area around Mokpo, Korea. *The Sea (J. of the Kor. Soc. of Oceanogr.)*, 5, 169-176.
- Pearson, T. and R. Rosenberg. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16, 229-311.
- Poore, G.C.B. and J.O. Kudenov. 1978. Benthos of the Port of Melbourne: The Yarra River and Hobsons

- Bay, Victoria. *J. Mar. Fresh. Res.*, 29, 141-155.
- Sanders, H.L. 1968. Marine benthic diversity: a comparative study. *Ame. Natural.*, 102, 243-282.
- Sarda, R., S. Pinedo and D. Martin. 1999. Seasonal dynamics of macroinfaunal key species inhibiting shallow soft-bottoms in the Bay of Blanes (NW Mediterranean). *Acta Oecologica*, 20, 315-326.
- Shim, J.H., C.H. Koh, S.J. Kim, T.W. Lee and Y.C. Park. 1988. Analysis of the ecosystem, Yellow Sea, 1-246.
- Shin, H.C., S.G. Kang and C.H. Koh. 1992. Benthic polychaete community in southern area of Kyeonggi Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 27, 164-172.
- Snelgrove, P.V.R. and C.A. Butman. 1994. Animal-sediment relationships revised: cause versus effect. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 32, 111-177.
- Taghon, G.L. 1992. Effect of animal diversity and supply of deposited and suspended food particles on feeding, growth and small-scale distributions of two spionid polychaetes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 162, 77-95.
- Warwick, R.M. and K.R. Clarke. 2001. Practical measures of marine biodiversity based on relatedness of species. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 39, 207-231.
- Warwick, R.M. and K.R. Clarke. 1994. Relearning the ABC: taxonomic changes and abundance/biomass relationships in disturbed benthic communities. *Mar. Biol.*, 118, 739-744.
- Warwick, R.M. and R.J. Uncles. 1980. Distribution of benthic macrofauna associations in the Bristol Channel in relation to tidal stress. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 3, 97-103.
- Wolff, W.J. 1973. The estuary as a habitat. An analysis of data on the soft-bottom macrofauna of the estuarine areas of the Rivers Rhine, Meuse, and Scheldt. *Zool. Verh.*, 126, 1-242.
- Willhelm, R. and T.J. Hilbish. 1998. Assessment of natural selection in a hybrid population of mussel: evaluation of exogenous vs endogenous selection models. *Mar. Biol.*, 131, 505-514.
- Yi, S.K., J.S. Hong and J.H. Lee. 1982. A study on the subtidal benthic community in Ulsan Bay, Korea. *Bull. Kor. Ocean Res. Dev. Inst.*, 4, 17-26.

2005년 10월 17일 접수
2006년 5월 26일 수리