

저서동물에 의한 여름철 광양만의 저서환경 상태파악

최진우* · 현상민 · 장만

한국해양연구원 남해연구소

The Summer Benthic Environmental Conditions Assessed by the Functional Groups of Macrobenthic Fauna in Gwangyang Bay, Southern Coast of Korea

Jin-Woo Choi*, Sangmin Hyun and Man Chang

South Sea Institute, KORDI, 391 Jangmok-ri, Jangmok-myon, Geoje 656-830, Korea

Abstract - The spatial distributional pattern of macrobenthic fauna was investigated to assess the summer benthic environmental conditions in Gwangyang Bay, the southern coast of Korea. The macrobenthic faunal community from 38 sites in Gwangyang Bay comprised 154 species and showed an overall mean density of 1,286 individuals m⁻². Polychaetes were the most important component of the macrofaunal community in species richness, abundance and biomass. The dominant species in abundance were polychaetes like *Tharyx* sp. (44.8%), *Lumbrineris longifolia* (14.0%), *Heteromastus filiformis* (3.6%), a mussel *Mytilus edulis*, and an amphipod crustacean *Corophium sinense*. The abundance and biomass in the western part of the bay were lower than those in the channel regions and mouth of the bay. The community indices showed the same trend in the spatial distribution with the abundance and species richness. All macrobenthic faunas were assigned into a specific functional group according to their ecological responses to the environmental stress. The benthic community health based on the Benthic Pollution Index (BPI) or Biotic Coefficient (BC) seemed to be in the normal to unbalanced or transitional condition, indicated by the dominance of small polychaete worms like *Tharyx* sp. in the mouth part of the bay.

Key words : Macrobenthos, Benthic Pollution Index (BPI), Biotic Coefficient (BC), functional group, Gwangyang Bay

서론

한국 남해 연안은 산업화에 따른 환경 변화와 남획에 의한 자원 고갈 등으로 인해 잡는 어업에서 기르는 어

업으로 전환되면서 대부분의 해안이 양식장화 되어 있다. 이러한 남해안의 과도하게 밀집된 양식장은 인접한 산업시설물과 육상 기원 오염과 함께 양식장 자체의 오염이 가중되고 있다. 남해 연안해역에 대해서 이렇게 다양한 이용도로 인하여 양식생물은 생산성 저하나 병원균 감염 등에 취약한 상태에 놓여 있으며, 이를 개선할 효율적인 연안역 관리에도 어려움을 주고 있는 실정이

* Corresponding author: Jin-Woo Choi, Tel. 055-639-8550, Fax. 055-639-8509, E-mail. jwchoi@kordi.re.kr

다. 따라서 대단위 산업시설이 위치한 광양만을 특별관리해역으로 설정하여 해양환경을 보존하고, 각종 환경오염으로부터 생태계를 보호할 관리방안에 대한 연구의 필요성이 증가하였다. 이러한 종합연구의 일환으로서 광양만 내부와 만의 입구해역에서 해양 저서환경의 상태를 파악하기 위해서 먼저 광양만에 서식하는 저서동물 군집의 공간 분포양상을 파악할 필요가 있었다.

일반적으로 해양환경을 평가하는데 저서생물을 많이 이용해 왔으며 (Word 1978), 특히 최근에는 해양의 수질 모니터링에 이동성이 없는 저서생물을 환경평가에 포함시켜 분석하거나 퇴적물의 질을 평가함에 저서생물을 이용하는 시도가 많이 있었다 (Chapman *et al.* 1987; Chapman 1990; 임과 홍 1994; 이 등 1997; 한국해양연구소 1994, 1999). 또한 최근 유럽에서는 그 동안의 생물군집 조사자료를 이용하여 각 저서생물의 환경교란에 반응하는 정도를 파악하고 구분하여 정량적인 환경지수를 산출하는데 이용하고 있다 (Borja *et al.* 2000). 그러나 국내의 경우에는 실제로 저서생물이 서식하고 있는 저서환경에 대한 평가는 아직도 미흡한 단계에 있으며, 다각적인 방법이 강구되어 현장시험을 기다리고 있는 실정이다.

남해 광양만의 저서동물군집에 대한 연구는 저서성 다모류군집의 구조와 분포에 대한 조사가 몇 차례 있었으나 (Choi and Koh 1984; 신과 고 1990; 정 등 1995; 1997; 정 1998), 전체 대형저서동물군집을 대상으로 한 연구는 아직 발표가 되지 않았고, 대부분의 조사결과는 미발표 보고서의 형태로 남아 있는 실정이어서 아직까지는 광양만 저서생태계에 대한 정보가 빈약한 상태이다. 저서생물군집을 이용한 저서환경 평가에 사용된 연구는 매우 적었고 (한국해양연구소 1994, 1999; 임 등 1994; 이 등 1997), 특히 광양만에 적용한 경우는 아직 없었다.

본 연구에서는 남해 특별관리해역으로 설정된 광양만에 서식하는 대형저서동물의 군집구조를 분석하고 환경교란에 반응하는 기능군의 공간분포를 파악함으로써 현재 광양만의 여름철 저서환경 상태를 평가하는 기초 자료로 이용하고자 하였다.

재료 및 방법

남해 광양만의 저서 퇴적물에 서식하는 저서동물군집의 공간적인 분포양상을 파악하기 위하여 2001년 6월 27일에서 29일에 걸쳐 38개 조사정점을 선정하여 현장 조사를 실시하였다 (Fig. 1).

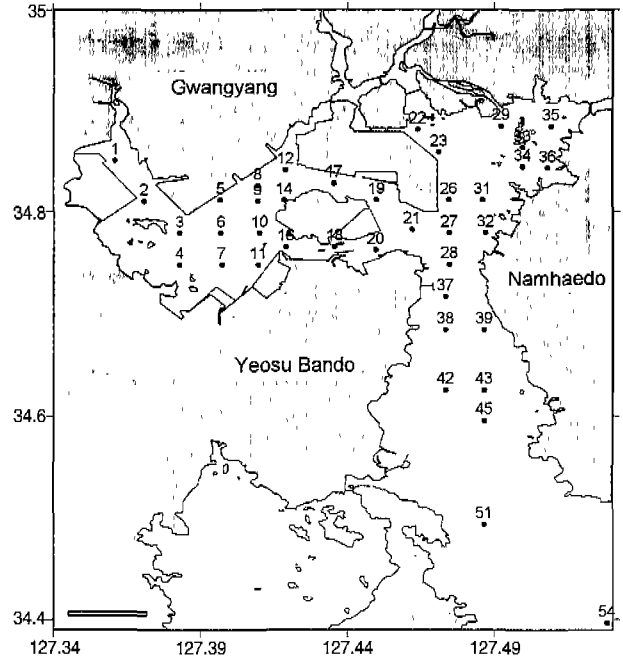


Fig. 1. A map showing the study area and sampling sites.

조사해역의 퇴적물내에 살고 있는 저서생물의 채집은 개량형 van Veen grab (채집면적이 0.1 m²)을 사용하여 각 정점에서 3회씩 채집하였다. 채취된 퇴적물은 선상에서 망목크기 1mm인 체 (sieve)를 사용하여 해수로 걸러서 남은 시료를 10% 중성포르말린으로 고정하였다.

실험실에서 주요 분류군별로 선별한 후 습중량을 측정하였고, 가능한 중수준까지 동정하고 개체수를 조사하였다. 다모류에 대한 종동정에는 백 (1989)의 분류체계를, 게와 새우류에 대해서는 김 (1973)의 분류체계를 중심으로 하여 종 동정을 하였다.

군집분석에 사용된 지수의 계산식은 다음과 같다.

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \times \ln(P_i) \quad (\text{Shannon and Weaver 1963})$$

P_i : i번째 종의 점유율 (n_i/N), S : 출현종수,

n_i : i번째 종의 개체수, N : 전체군집의 개체수

$$R = (S - 1) / \ln(N) \quad (\text{Margalef 1958})$$

$$J' = \frac{H'}{\ln(S)} \quad (\text{Pielou 1966})$$

유기물 오염에 반응하는 정도는 섭식유형에 따른다는 가정하에 우점종을 중심으로 저서동물을 4개 군으로 나누고 섭식형 구조를 0~100사이의 지수로 나타내어 정점간, 지역간, 시공간적인 비교가 가능하도록 저서오염지수 (Benthic Pollution Index: BPI)를 구하였다 (한국해양

연구소 1994). 저서오염지수에 사용되는 좋은 지수생물이라 하는데, 주로 각 지역의 1~3% 이상 차지하는 우점종을 선택하였다(Word 1978). 종 수준까지 동정이 불가능한 것은 속이나 과 수준의 상위 범주의 자료를 사용하였다. 선택된 지수생물은 섭식형과 유기물에 대한 반응 정도를 가지고 4개군의 하나에 할당시켰다. 유기물 오염의 영향으로 환경에 저해가 생긴 후에는 군집의 조성이 달라지고 천이가 일어나게 되는데, 다양한 섭식 유형을 가진 기회종이 출현하게 된다. 기회종은 유기물 오염에 따른 환경교란의 지시종으로 역할을 한다. 따라서 본 연구에서는 Word (1978)의 섭식형 구분에 지시종으로 선택된 우점종의 섭식형과 천이형으로 고려하여 각 그룹별 구성원에 할당하였다. 즉, 제1군에는 여과식자와 육식자를, 제2군에는 표층퇴적물식자를, 제3군에는 표층퇴적물식자를, 제4군에는 오염지시종 또는 기회종을 할당하였다(한국해양연구소 1994).

저서오염지수(BPI)

$$= \left[1 - \frac{a \times n1 + b \times n2 + c \times n3 + d \times n4}{n1 + n2 + n3 + n4} \right] \times 100$$

(n1 = 여과식자 및 육식자의 출현량(오염부하에 민감하게 반응하여 감소하는 종들); n2 = 표층퇴적물식자의 출현량(유기물오염에 약간의 증가를 보이는 종들); n3 = 표층퇴적물식자의 출현량(유기물오염에 다소 높은 개체군 증가를 보이는 종들); n4 = 오염지시종 또는 기회종의 출현량(유기물오염이 심하여 다른 종들이 감소하거나 없어져도 잘 적응하여 매우 높은 개체군 밀도를 보이는 종); a, b, c, d = 섭식군의 가중치(대개 등치수열로 부여되며, 본 연구에서는 a = 0, b = 1, c = 2, d = 3을 적용하였다.)

저서오염지수(BPI)값의 범위는 다음과 같으며, BPI = 0이면 저서군집이 모두 표층퇴적물식자로 구성되었음을 나타내며, BPI = 100이면 저서동물군집이 모두 여과식자만으로 구성되었음을 나타낸다. 따라서 저서오염지수(BPI) 값이 작을수록 유기물의 공급이 많음을 나타내고, 그것을 이용하는 표층퇴적물식자나 유기물오염에 적응한 오염지시종이나 기회종이 우점함을 시사한다.

또한 유기물 유입량에 반응하여 감소나 증가하는 정도에 따라 저서생물을 크게 5개의 생물군으로 구분하여 각 생물군의 조성비율에 의해 생물계수(BC: biotic coefficient)를 구하여 저서환경의 건강도를 평가하는 방법이 최근 유럽을 중심으로 사용되고 있는데(Borja et al. 2000), 이러한 방법을 본 조사에서도 적용하고자 하였다. 생물계수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$BC = [(0 \times \% GI) + (1.5 \times \% GII) + (3 \times \% GIII) + (4.5 \times \% GIV) + (6 \times \% GV)] / 100$$

(여기서 BC = 0~6; BC = 7(무생물 조건))

저서동물을 증가하는 stress의 크기 정도에 반응하는 민감도에 따라 5개의 반응군(response group)으로 구분하였으며, 각 그룹의 특징은 다음과 같다.

- (1) group 1: 유기물 증가에 매우 민감한 종으로 정상 환경에서만 출현하는 종으로 특정 육식자, 서관을 가진 퇴적물 식자.
- (2) group 2: 유기물 증가에 둔감한 종으로 정상상태에서 낮은 밀도를 가진 종으로 여과식자, 일반적인 육식자, 부식자.
- (3) group 3: 유기물 증가에 내성이 강한 종, 표층퇴적물식자로서 특히, 서관을 가진 spionids.
- (4) group 4: 2차 기회종, 주로 소형 갯지렁이류, 표층퇴적물식자인 Fam. Cirratulidae에 속하는 종.
- (5) group 5: 1차 기회종(현저한 비균형 환경의 종), 환원상태의 퇴적물에서 번성하는 퇴적물 식자.

광양만의 대형저서동물과 퇴적물의 중금속 농도와 유기독성물질 농도간의 상관관계를 보기 위해서 저서동물의 개체수와 출현종수를 로그변환한 값과 군집의 BPI와 생물계수를 중금속인 Cd, Cu 및 유기독성물질인 PAHs의 총량간의 선형관계를 도식화하였다. 이들 오염물질들은 저서생물 채집시에 채취된 퇴적물을 취하여 분석되었다. 저서생물을 채집한 모든 정점에서 분석이 이루어진 것은 아니며, 오염물질에 따라 분석 정점의 수가 달랐다. 이들 오염물질의 정점별 농도는 한국해양연구원(2002)의 자료를 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 저서동물군집의 종조성

조사해역에서 2001년 6월에 38개 조사정점에서 출현한 저서동물은 10개 동물문에 속하는 154종 4,887개체였다. 가장 많은 출현종을 보인 분류군은 환형동물문의 다모류로서 69종이 출현하여 전체 종수의 45.1%를 차지하였다. 그 다음으로는 갑각류(52종, 34.0%), 연체동물(22종, 14.4%), 극피동물(5종, 2.6%) 순이었다(Fig. 2). 출현 개체수에 있어서는 역시 다모류에서 3,571개체(전체의 73.2%)로 가장 많았고, 갑각류(15.0%), 연체동물(10.7%) 순으로 나타났고, 기타 분류군에서는 0.5% 이하의 적은 출현개체수를 보였다. 생물량에 있어서는 연체동물에서 전체의 39.0%를 차지하여 가장 많았고, 다모류에서도 전체의 38.7%를 차지하였으며, 극피동물에서 10.5%를, 자포동물과 갑각류에서 각각 4.3%와 3.6%를 차지하

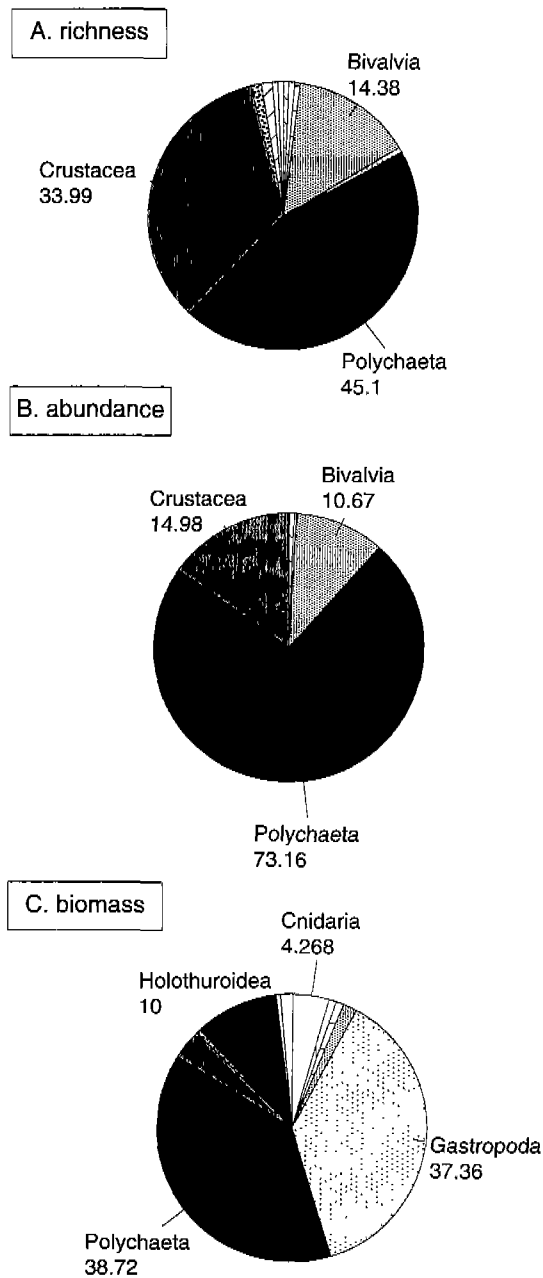


Fig. 2. The proportion of richness, abundance and biomass of macrobenthic fauna occurred in all station, June 2001.

였다.

광양만 전체에서 출현한 저서동물 개체수의 1% 이상을 차지한 주요 우점종 중에서 가장 많은 개체수를 보인 종으로는 다모류의 *Tharyx* sp.이며, 38개 정점 중 27개 정점에서 출현하였고, 평균 서식밀도는 54개체 m^{-2} 였으며, 전체의 44.8%를 차지하였다. 그 외의 주요 우점종으로는 다모류의 *Lumbrineris longifolia* (14.9%), 연체동

물의 *Mytilus edulis* (6.5%), 갑각류의 *Corophium sinense* (4.5%), 다모류의 *Heteromastus filiformis* (3.6%) 등이었다 (Table 1). 전체 출현 개체수의 1% 이상을 차지하는 종은 12종으로 이들은 전체 출현 개체수의 83.5%를 차지하였다.

지금까지 광양만에서 조사된 대형 저서다모류군집의 종조성을 보면 1982년에는 다모류의 *Lagis bocki*, *Lumbrineris longifolia*, *Chone teres* 등 (Choi and Koh 1984)이었고, 1983~1984년에는 *L. longifolia*, *Lagis bocki*, *Heteromastus filiformis*, *Glycinde* sp. 등 (정 등 1997)으로, 주요 우점종의 비중이 크게 바뀌지 않았다. 그러나 광양제철소의 건설이 활발하였던 1987~1988년에는 *L. longifolia*, *Sternaspis scutata*, *Nephtys polybranchia* 등이 우점하였고 (신 등 1990), 4년 후인 1992년의 여름철에는 우점종이 *L. longifolia*, *Tharyx multifilis*, *H. filiformis*, *Sternaspis scutata* 등으로 변하여 (정 1998), *Tharyx multifilis*의 비중이 예전에 비해 크게 높아졌다. 약 5년 후인 1997년 겨울철에는 *Tharyx* sp.가 극히 우점하였고, *Melinna cristata*, *H. filiformis*, *L. longifolia* 등이 우점종으로 출현하였다 (서울대학교 1997). 2001년 여름철인 본 조사결과와 비교하면 *Melinna cristata*의 비중이 감소한 것 외는 1997년 통계 조사결과와 매우 유사한 우점종 조성을 보였다. 시간에 따른 다모류 군집의 종조성 변화를 보면 과거 1982년부터 1988년까지는 유사한 종조성을 보이다가 1988~1992년까지 크게 달라졌고, 1997년 이후에는 현재와 매우 유사한 군집조성을 가지고 있는 것으로 보인다.

남해 연안해역에서 조사된 대형저서동물군집의 조사결과와 비교하면 광양만에서 가장 많은 개체수를 보인 우점종이 다모류의 *Tharyx* sp.와 *Lumbrineris longifolia*로서 가막만 (신 1995), 앵강만 (임 등 1999), 소리도 주변해역 (임과 최 2001)에서의 우점종과 일치하였다. 그러나, 득량만에서는 1991년에는 다모류의 *Eteone longa*, *Paraprionospio pinnata*, *Inermonephtys inermis* 등이 우점종으로 출현하였으나 (마 등 1995), 1996년과 1997년에는 *Lumbrineris longifolia*가 가장 우점하였지만, 광양만의 우점종인 *Tharyx* sp.의 우점도는 극히 낮았다 (신과 김 2002). 최근 남해 연안해역의 저서동물군집은 대체로 광양만을 중심으로 동쪽에 위치한 내만해역에서 다모류에 속하는 *Tharyx* sp.와 *Lumbrineris longifolia*가 주된 구성원임을 보여 주었다.

2. 지역적인 출현양상

2001년 6월의 38개 정점에 대한 조사에서 각 정점별

Table 1. Dominant species of macrobenthos in June 2001

Species	Mean density	Sum	%	Cum. %	No. station occurred
<i>Tharyx</i> sp. (p)	54	2108	44.8	44.8	27
<i>Lumbrineris longifolia</i> (p)	14	545	14.0	58.7	26
<i>Mytilus edulis</i> (b)	9	361	6.5	65.3	1
<i>Corophium sinense</i> (a)	5	211	4.5	69.7	27
<i>Heteromastus filiformis</i> (p)	5	191	3.6	73.3	30
<i>Sigambra tentaculata</i> (p)	2	94	1.7	75.0	23
<i>Melita</i> sp. 1 (a)	2	92	1.7	76.7	15
<i>Gammaropsis</i> sp. 1 (a)	2	59	1.7	78.4	5
<i>Glycera chirori</i> (p)	2	82	1.5	79.8	25
<i>Theora fragilis</i> (b)	2	62	1.3	81.1	15
<i>Melita longidactyla</i> (a)	2	67	1.2	82.3	12
<i>Nephtys oligobranchia</i> (p)	1	57	1.2	83.5	24

(a : amphipods, b : bivalves, p : polychaetes)

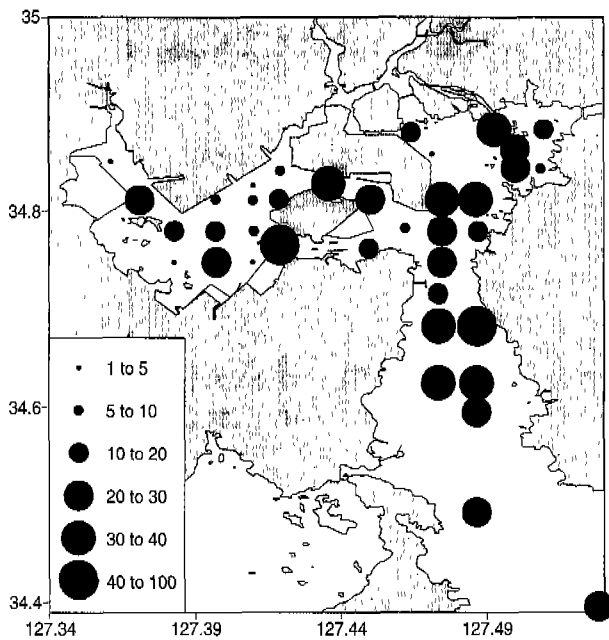


Fig. 3. Spatial variation in species richness (spp./0.3 m²) of the macrobenthos at each station in June 2001.

출현종수, 개체수 및 생물량을 보면 다음과 같다. 광양만 전체의 정점당 평균 출현종수는 19종이었다. 가장 많은 저서동물의 종수를 보인 곳은 여수해만의 동쪽에 위치한 정점 39로서 81종이 출현하였고, 정점 16에서도 44종이 출현하여 상대적으로 많은 출현 종수를 보였다 (Fig. 3). 조사정점당 30종 이상의 종수를 보인 정점은 9개 정점에 불과하였는데, 주로 여수해만에서 남해대교로 연결되는 주수로역에 위치한 정점들이었으며, 묘도 북수로의 정점 17과 묘도 남수로의 정점 16에서 30종 이상의 출현을 보였다. 반면에 광양만의 묘도 남수로에 위치한

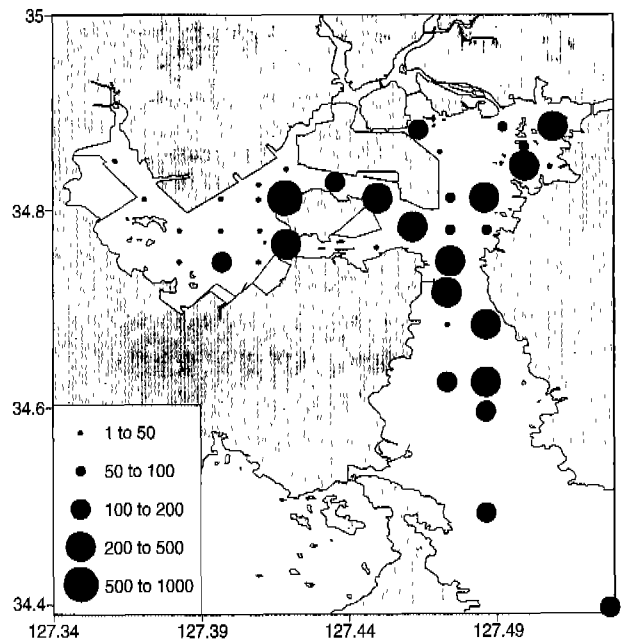


Fig. 4. Spatial variation in species abundance (ind. m⁻²) of the macrobenthos at each station in June 2001.

정점 18에서는 저서생물이 전혀 채집되지 않았다. 또한 광양만의 서부 내만역에서는 정점 7과 정점 2에서 각각 29종과 22종이 출현하였을 뿐 대부분의 정점에서 10종 내외의 빈약한 저서생물 종수를 보였다. 가장 외곽에 위치한 정점 51과 54에서는 20~25종의 생물종이 출현하였다.

광양만 전체의 평균 저서동물 서식밀도는 1,420개체 m⁻²였다. 저서동물의 출현개체수에 대한 지역적인 분포양상을 보면 출현종수의 분포양상과 매우 유사한 것으로 나타났는데, 광양만의 서부 내만역에서는 1,000개

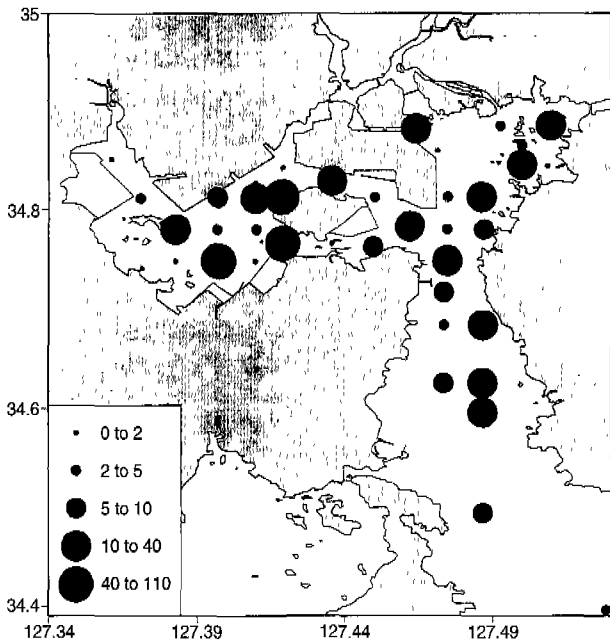


Fig. 5. Spatial variation in species biomass (g wet m^{-2}) of the macrobenthos at each station in June 2001.

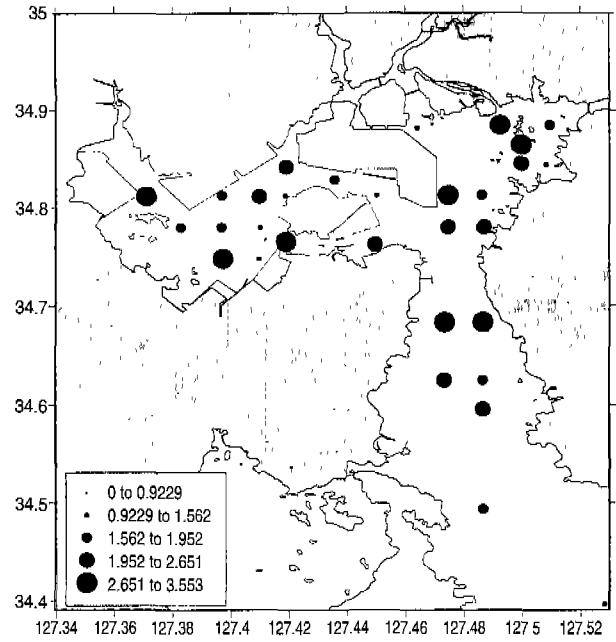


Fig. 6. Species diversity index (H') at each station in June 2001.

m^{-2} 이하의 낮은 서식밀도를 보인 반면에 묘도 복수로 및 광양만의 주수로역에서는 2,000개체 m^{-2} 내외의 높은 서식밀도를 보였다 (Fig. 4). 가장 많은 출현개체수를 보인 곳은 묘도 복수로역의 끝단에 위치한 정점 14로서 6,300개체 m^{-2} 가 출현하였고, 묘도 남수로의 정점 16에서도 4,330개체 m^{-2} 를, 광양만 입구의 정점 28에서 4,280개체 m^{-2} 를, 묘도 복수로의 정점 21에서 3,780개체 m^{-2} 등으로 많은 개체수를 보였다. 정점 14에서 연체동물의 홍합 (*Mytilus edulis*)이 3,610개체 m^{-2} 로 집중 출현하였고, 다모류의 *Tharyx* sp.의 출현도 많았다. 가장 외곽의 정점 51과 54에서는 1,000~2,000개체 m^{-2} 의 서식밀도를 보여 평균치에 가까운 서식밀도를 보였다.

광양만의 여름철 평균 생물량은 144 g m^{-2} 이었다. 생물량의 지역적인 분포에 있어서도 종수와 개체수의 분포양상과 유사하였으나, 광양만 서부의 일부 정점(정점 3, 정점 7)들에서 다소 많은 생물량을 보였다 (Fig. 5). 여름철 조사에서 가장 많은 생물량을 보인 곳은 묘도 남수로에 위치한 정점 16과 묘도 복수로에 위치한 정점 14로서 각각 $1,076 \text{ g m}^{-2}$ 과 $1,051 \text{ g m}^{-2}$ 의 많은 생물량을 보였다. 광양만의 서부 내만에 위치한 정점 7에서도 453 g m^{-2} 의 생물량을 보여 평균치보다 많았다. 광양만의 모래 삼각주에 인접한 정점에서 생물량이 적었다. 가장 외곽의 정점 51과 54에서는 50 g m^{-2} 내외로 평균치보다 적었다.

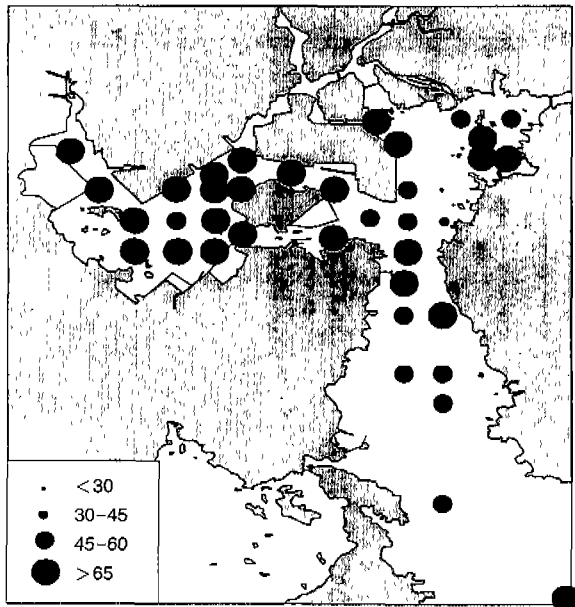
3. 군집지수

2001년 6월에 광양만의 각 조사정점별로 출현한 저서동물의 개체수 자료에 의해 다양성지수 (H')를 구한 결과 여수해만의 정점 39에서 $H' = 3.55$ 로서 최대치를 보였다 (Fig. 6). 조사해역의 서쪽에 위치한 정점들에서는 H' 값이 2.0 이하의 작은 값을 보였다. 광양만의 서부 내만에 위치한 정점 2에서는 H' 값이 3.0으로 높았고, 묘도 남수로의 정점 16, 만입구역의 정점 26과 29, 여수해만의 정점 38과 39에서도 H' 값에서 광양만 내에서는 상대적으로 높은 값을 보였다. 그러나, 묘도 복수로의 정점 17, 19, 21 등과 만입구역의 정점 28에서는 H' 에서 작은 값을 보였다. 가장 외곽에 위치한 정점 51과 54에서도 H' 값이 상대적으로 적은 값을 보였다. 종다양성지수값은 각 정점의 출현종수를 잘 반영하였으며, 우점종의 지역적인 분포양상과 우점정도를 잘 반영하고 있었다.

4. 저서오염지수 (BPI) 및 생물계수 (BC)

광양만의 저서환경 상태를 저서동물군집의 오염반응 정도에 의해서 하나의 수치로 나타내는 저서오염지수 (BPI)와 생물계수 (BC)를 구하였다. 이들 오염지수를 구하기 위해 먼저 각 저서동물을 하나의 기능군에 할당하였다 (Appendix 1).

(a) BPI



(b) BC

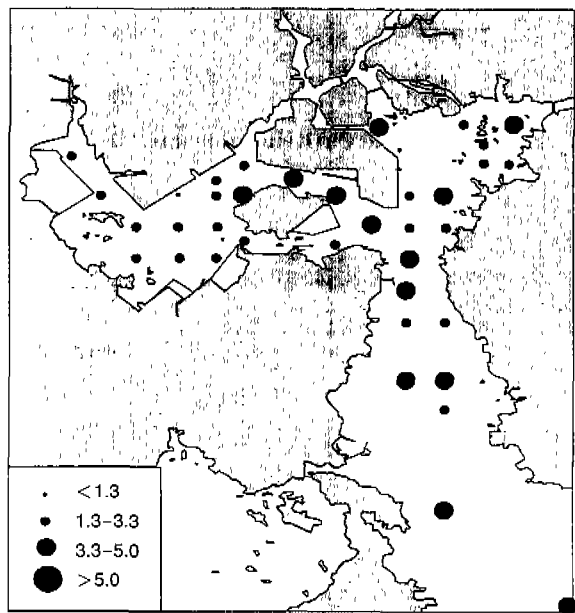


Fig. 7. Spatial distributions of the values of Biotic indices. (a) Benthic Pollution Index (BPI), (b) Biotic Coefficient (BC).

2001년 6월의 조사에서 출현한 저서동물군집의 BPI 값을 보면 정점 31에서 BPI값이 25로서 가장 낮았고, 정점 32에서 BPI값이 45로서 다음으로 낮은 값을 보였다(Fig. 7a). 그 외에도 정점 21, 정점 26, 정점 27 등과 여수해만에 위치한 정점 38, 정점 42, 정점 43, 정점 45 등에서도 BPI값이 55 이하였다. 이들 외의 정점에서는

BPI값이 60 이상을 보였고, 가장 외곽에 위치한 정점 51과 정점 54에서는 BPI값이 각각 57과 62였다. 정점 31에서는 BPI값이 25에 불과하였고, 정점 21에서도 BPI값이 53 정도였던 것은 유기물오염지역에서 많이 출현하는 다모류의 *Lumbrineris longifolia*가 우점종으로 나타났기 때문이다. 지금까지 조사된 연안역의 저서동물군집에 대한 BPI 조사에서 유기물오염이 진행된 내만역에서는 BPI값이 30 이하의 낮은 값을 보이며, 유기물 오염 현상이 없다고 간주되는 외해역에서는 BPI값이 60 이상의 값을 보였다(한국해양연구소 1994, 1999). 따라서 BPI값에 의한 광양만의 저서환경 상태는 광양만 입구역을 제외하면 전 정점에서 양호한 상태에 있는 것으로 보인다.

저서동물을 유기물오염에 반응하는 정도에 따라서 5개 반응군으로 할당하여 생물계수값을 구한 결과 정점 37에서 BC값이 4.38로서 최대치를 보였고, 정점 23과 정점 5에서 가장 낮은 값을 보였다(Fig. 7b). 정점 51, 정점 54, 정점 43, 정점 28, 정점 21, 정점 22 등에서는 BC값이 4.0 이상이었고, 전체 중 15개 정점에서 BC값이 3.3 이상이었다. 이들 정점들에서 비교적 높은 BC값을 보인 것은 유기물오염에 잘 적응하는 다모류의 *Tharyx* sp.의 대량 출현과 관련이 있었다. BC값이 1.20 이하의 적은 값을 보여 저서생물군집은 거의 교란되지 않은 정상적인 건강한 군집을 유지하고 있는 곳은 2개 정점에 불과하였다.

Borja *et al.* (2000)에 의하면 유럽의 경우에는 BC값이 1.2~3.3이면 약간의 오염이, 3.3~5.0이면 중간정도 오염의 상태를, 5.0~6.0이면 매우 오염된 상태라고 분류하였다. 본 조사해역에서는 BC값이 1.2 이하인 곳은 2개 정점, BC값이 1.2~3.3 사이에 있는 정점이 21개 정점, BC값이 3.3~5.0 사이에 있는 정점이 15개였고, BC값이 5.0 이상인 곳은 없었다. 따라서 BC에 의한 광양만의 저서환경 상태는 약간 또는 중간 정도로 유기물오염에 노출되었음을 보여 주었다. 향후 저서환경에 대해서 지속적으로 감시할 필요가 있는 것으로 생각된다. 저서동물군집의 BC값을 저서환경의 건강도에 적용한 남해 거제도 남부의 외해역에 적용한 결과에서는 일부 정점을 제외하고는 1.3 이하의 값을 보여 유기물오염을 포함한 환경저해가 없는 것으로 나타났고(미발표 자료), 외나로도의 근해역의 3개 정점에서는 BC값이 2.4에서 3.2의 범위에 있었다(현 등 2002).

광양만의 퇴적물 내 중금속 농도는 주로 광양만 서부의 내만역이나 섬진강 하구역, 묘도 남수로 등지에서 높은 농도를 보였다(한국해양연구원 2002; Fig. 8). 이들 해역에서는 대형저서동물의 전체적인 종풍부도나 현존

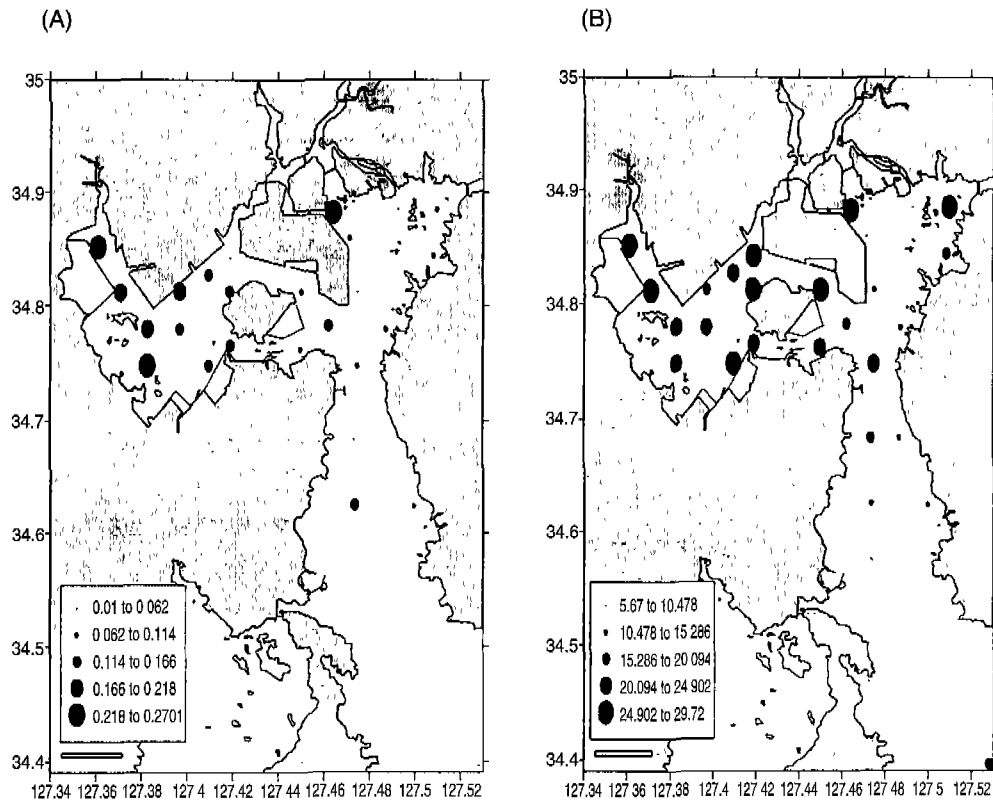


Fig. 8. The spatial distribution of total concentration (ppm) of Cd (A) and Cu (B) in sediments.

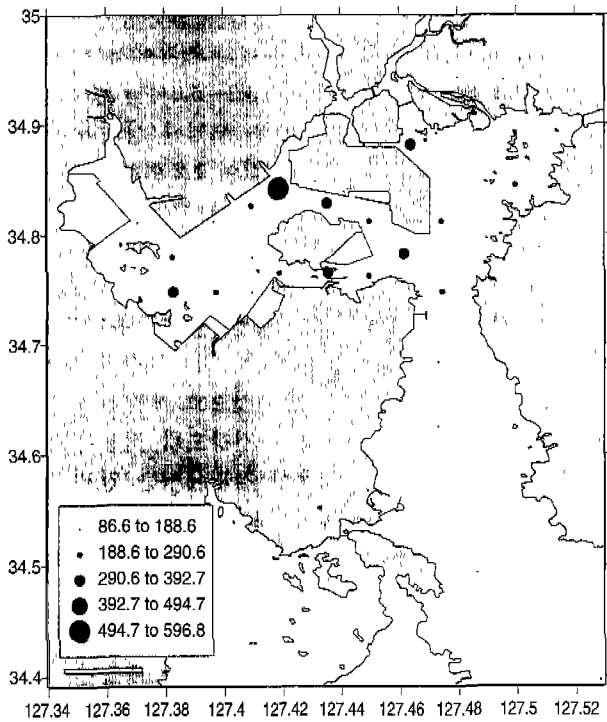


Fig. 9. The spatial distribution of total concentration (ppb) of PAHs in sediments.

량이 적은 해역이었다 (Figs. 4, 5). 또한 유기독성물질의 하나인 PAHs의 퇴적물 내 농도 분포를 보면 묘도 북서로와 만나는 섬진강 하구에 위치한 정점에서 상대적으로 높은 농도를 보였으나 다른 정점에서는 대체로 낮은 농도를 보였다 (한국해양연구원 2002; Fig. 9). 이들 환경요인과 대형저서동물의 현존량과 종수 및 종다양성지수 사이의 관계를 보면 Cd의 경우에는 농도 증가에 따라 세 가지 생물요인이 감소하는 경향을 보여 주었으며, Cu와 PAHs의 경우에는 개체수와 뚜렷한 상관관계를 보이지 않았다 (Fig. 10). 이는 오염물질에 내성이 강한 종이 우점종으로 남아 있는 경우에는 출현밀도는 높고, 종수가 적은 군집을 형성하게 되는 것과 관련이 있을 것으로 생각된다.

각 조사정점에서 조사된 종다양성지수(H'), 저서오염지수(BPI), 생물계수(BC) 등의 군집지수값 상호간의 관계를 보면 BC와 BPI간의 관계를 제외하면 그다지 의미 있는 상관관계를 보이지 않았다 (Fig. 11). 이는 H'값이 수학적인 확률통계모델에 의거하여 구해진 값임에 비해서 BPI와 BC값은 환경교란에 반응하는 저서생물의 생물학적 특성에 의거하여 산출되었기 때문에 두 변수들 사이에는 차이가 있을 수 있다고 생각된다. 저서생물상

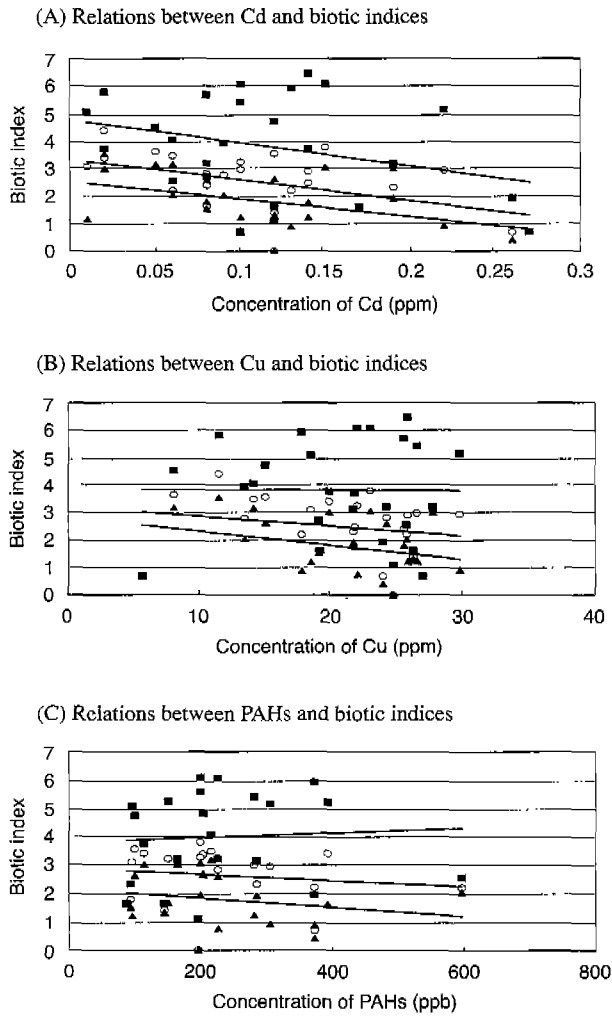


Fig. 10. Relationships between some environmental stressors and benthic faunal indices. Solid squares represent Ln (ind.); open circle, Ln (spp.); solid triangle, H'.

에 의한 저서환경의 건강도를 평가하는 BPI와 BC를 광양만에 적용한 결과 두 지수들 사이에 있어서도 매우 잘 일치하는 결과를 보여 주지는 못하였다(Fig. 11C). 즉, BC값이 4.0 이상이면 오염된 환경을 지시하는데 반하여, BPI값에서는 60 이상의 큰 값을 보여 건강한 저서환경임을 지시하고 있는 점이었다. BPI 방법이 BC에 비해서 광양만의 저서환경이 더 양호한 것으로 평가되었는데, 이는 저서생물에 대한 기능군의 분류가 덜 현실적인 것과 관계가 있다고 생각된다. 향후 현실성이 높은 값을 산출하기 위해서는 각 저서생물에 대한 생태학적 정보가 좀 더 많이 축적이 되어야 할 것이며, 이를 통해 보다 정확한 저서생물의 기능군 분류가 가능해질 것이다.

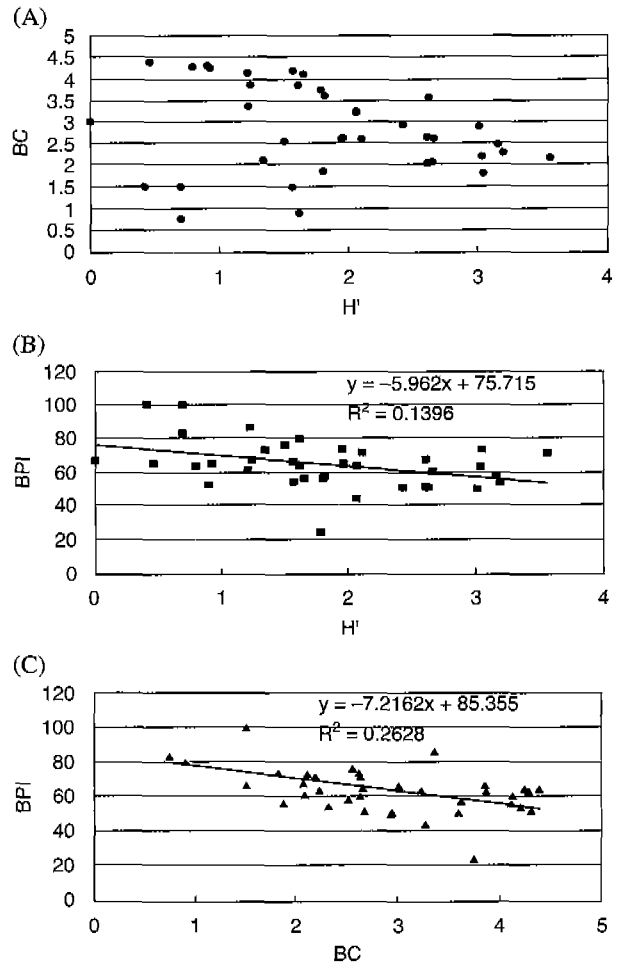


Fig. 11. The relationships between community indices. (A) species diversity index and BC, (B) species diversity and BPI, (C) BC and BPI.

요약 및 결론

남해 특별관리해역으로 설정된 광양만에 서식하는 대형저서동물의 군집구조와 공간분포를 이용하여 여름철 광양만의 저서환경을 평가하기 위해서 2001년 6월 광양만의 38개 조사정점을 선정하여 van Veen grab으로 정량적으로 채집하여 기능군으로 분석하였다. 2001년 여름철 광양만의 주요 우점종으로는 다모류의 *Tharyx* sp. (44.8%), *Lumbrineris longifolia* (14.0%), 이매패류의 *Mytilus edulis* (6.5%), 단각류의 *Corophium sinense* (4.5%), 다모류의 *Heteromastus filiformis* (3.6%), *Sigambra tentaculata* (1.7%) 등이었다.

지역적인 분포양상을 보면 조사해역의 서쪽에 위치한 정점들에서 종수와 개체수가 적었고, 주수로역에서 풍부

한 생물상을 보였다. 1992년부터 다모류의 *Tharyx* sp.가 광양만에서 가장 우점한 저서동물로 나타났고, 1997년 이후에는 광양만의 주요 우점종 조성이 현재까지 크게 달라지지 않은 양상을 보였다. 광양만내의 전반적인 저서생물상은 묘도 서쪽의 저서생물은 과거와 마찬가지로 상대적으로 빈약한 저서생물상을 보였고, 또한 다소 다양한 조성을 가지는 군집으로 변화한 모습을 보였다.

대형저서동물군집의 출현종별 오염에 대한 반응 정도에 따라 기능군으로 분류하여 각 기능군의 조성비율에 의해 산출된 저서오염지수(BPI)와 생물계수(BC)의 값에 의하면 저서환경의 건강도는 주수로역의 일부정점(정점 31과 32)을 제외한 전 정점이 현재 정상이거나 약간 오염된 상태에 있음을 보였다. 그러나 묘도 북수로 입구를 포함한 광양만 입구 해역에서는 유기물오염에 잘 적응한 실타래갯지렁이류와 같은 다모류의 대량 출현이 있어서 지속적인 생물학적 감시가 필요할 것으로 생각되었다.

적 요

여름철 광양만의 저서환경 상태를 파악하기 위해서 2001년 6월 광양만의 38개 조사정점에서 대형저서동물의 분포를 조사하였다. 출현한 대형저서동물은 총 154종이었고, 다모류가 출현종수와 개체수에서 가장 우점한 동물분류군이었다. 다모류의 *Tharyx* sp. (44.8%), *Lumbrineris longifolia* (14.0%), 이매패류의 *Mytilus edulis* (6.5%), 단각류의 *Corophium sinense* (4.5%), 다모류의 *Heteromastus filiformis* (3.6%), *Sigambra tentaculata* (1.7%) 등이 주요 우점종이었다. 광양만의 묘도 서쪽에 위치한 정점들에서 종수와 개체수가 적었고, 광양만의 주수로역에서 풍부한 생물상을 보였다. 저서오염지수(BPI)와 생물계수(BC)에 의한 저서군집의 건강도지수에서는 주수로역의 일부 정점을 제외한 전 정점이 현재 정상상태 또는 약간 오염된 상태에 있었고, 광양만 입구 지역에서는 유기물오염에 잘 적응한 다모류의 대량 출현이 있어서 유기물 오염의 징후로 보여 향후 지속적인 감시가 필요할 것으로 나타났다.

사 사

본 논문은 한국해양연구원의 남해연구소에서 수행 중인 남해특별관리해역의 환경오염관리모델연구(BSPE 819-00-1407-7)의 일환으로 수행된 연구의 일부이며,

본 연구를 위해서 현장조사에서 생물시료 선별까지 도움을 주신 모든 분들께 감사를 드립니다. 아울러 본 논문을 자세히 검토하신 두 분의 심사위원께도 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김훈수. 1973. 한국동식물도감. 제14권 동물편(집게, 게). 문교부. 694 pp.
- 마채우, 홍성윤, 임현식. 1995. 득량만의 저서동물 분포. 한국수산학회지. 28(5):503-516.
- 백의인. 1989. 한국동식물도감. 제31권 동물편(갯지렁이). 문교부. 764 pp.
- 서울대학교. 1997. 해양환경감시 평가감시. 연안 저서환경 건강평가 기술. 환경부. 557 pp.
- 신현출. 1995. 가락만의 다모류군집. 한국해양학회지. 30(4):250-261.
- 신현출, 고철환. 1990. 광양만 다모류군집의 시·공간적 변화. 한국해양학회지. 25(4):205-216.
- 신현출, 김용현. 2002. 득량만 저서다모류군집의 공간분포. 한국해양학회지 「바다」. 7(1):20-31.
- 이재학, 고병설, 박홍식. 1997. 인천연안역 저서동물의 종조성을 이용한 환경평가. 한국수산학회지. 30(5):771-781.
- 임현식, 박홍식, 최진우, 제종길. 1999. 남해 앵강만 조하대 연성저질 저서동물 군집. 한국해양학회지 「바다」. 4(1):80-92.
- 임현식, 최진우. 2001. 남해안 소리도 주변 연성저질 해역의 저서동물 분포. 한국수산학회지. 34(3):225-237.
- 임현식, 홍재상. 1994. 해양저서동물군집을 이용한 진해만의 환경평가. 종별 개체수 분포특성에 따른 그래프분석기법의 적용. 한국수산학회지. 27(5):659-672.
- 정래홍. 1998. 연안해역 개발에 따른 해양 저서생태계의 장기 변동 연구. 인하대학교 이학박사학위취급논문. 306 pp.
- 정래홍, 홍재상, 이재학. 1995. 광양만 조하대의 두 다모류 군집 구조의 시간에 따른 변화. 한국해양학회지. 30(5):390-402.
- 정래홍, 홍재상, 이재학. 1997. 광양제철소 건설을 위한 매립과 준설공사 기간 중 저서 다모류 군집의 공간 및 계절 변화. 한국수산학회지. 30(5): 730-743.
- 한국해양연구소. 1994. 해양환경 관리기술. 해양 저서생물상에 의한 환경평가. 환경처. 과기처. 9-4-1, 244 pp.
- 한국해양연구소. 1999. 연안어장 환경모니터링 기법 개발. 해양수산부. BSPG 98292-00-1196-3. 535 pp.
- 한국해양연구원. 2002. 남해 특별관리해역의 환경오염 관리모델 연구(1) 광양만 중심 연구. BSPE 819-00-1407-7. 485 pp.
- 현상민, 최진우, 신경순, 장 만. 2002. 외나로도 주변해역 퇴적물의 지화학적 특성과 저서생물상. 한국환경과학회지.

- 11(3):215-225.
- Borja A, J Franco and V Perez. 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Mar. Pollut. Bull.* 40(12):1100-1114.
- Chapman PM. 1990. The Sediment Quality Triad approach to determining pollution-induced degradation. *Sci. Total Environ.* 97-98:815-825.
- Chapman PM, ER Long and RN Dexter. 1987. Synoptic measures of sediment contamination, toxicity and infaunal community composition (the Sediment Quality Triad) in San Francisco Bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 37(1): 75-96.
- Choi JW and CH Koh. 1984. A study on the polychaete community in Kwangyang Bay southern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea.* 19:153-162.
- Margalef R. 1958. Information theory in ecology. *General Systematics.* 3:36-71.
- Pielou EC. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theoret. Biol.* 13:131-144.
- Shannon CE and W Weaver. 1963. Diversity indices. In: Ludwig JA and JF Reynolds. 1988. *Statistical Ecology.* John Wiley & Sons, pp. 89-92.
- Word JQ. 1978. The infaunal trophic index. In: Coastal water research Project. *Annual Report*, pp. 19-39.

Manuscript Received: November 29, 2002

Revision Accepted: February 25, 2003

Responsible Editorial Member: Dong Sung Kim
(KORDI)

Appendix 1. The list of macrobenthic animals assigned to the functional groups

Taxa	Feeding type	BPI	BC	Taxa	Feeding type	BPI	BC
Phylum Cnidaria	C	1	2	<i>Heteromastus filiformis</i>	SSDF	3	4
Phylum Platyhelminthes	C	1	2	<i>Heterospio</i> sp.	SSDF	3	3
Phylum Nemertinea	C	1	2	<i>Inermonephtys inermis</i>	C	1	2
Phylum Brachiopoda	FF	1	1	<i>Lagis bocki</i>	SSDF	3	1
Phylum Sipunculida	SSDF	3	4	<i>Laonice cirrata</i>	SDF	2	3
Phylum Mollusca				<i>Lepidasthenia</i> sp.	C	1	2
Bivalvia				<i>Lepidonotus</i> sp.	C	1	2
<i>Anodontina stearnsiana</i>	FF	1	2	<i>Loimia medusa</i>	SDF	2	3
Bivalvia sp.1	FF	1	2	<i>Lumbrineris heteropoda</i>	C	1	2
Bivalvia sp.2	FF	1	2	<i>Lumbrineris japonica</i>	C	1	2
<i>Bullacta exarata</i>	SDF	2	3	<i>Lumbrineris longifolia</i>	SSDF	4	4
<i>Crepidula onyx</i>	C	2	3	<i>Lygdamis giardii</i>	C	1	1
<i>Euspira pila</i>	C	1	2	<i>Magelona japonica</i>	SDF	2	3
<i>Glossaulax didyma</i>	C	1	2	<i>Melinna cristata</i>	SDF	2	3
<i>Laternula anatina</i>	FF	1	1	<i>Mesochaetopterus</i> sp.	SDF	2	3
<i>Megangulus venulosus</i>	FF	1	2	<i>Micropodarke</i> sp.	C	1	2
<i>Musculus senhousia</i>	FF	1	2	<i>Nectoneanthes latipoda</i>	SDF	2	3
<i>Mytilus edulis</i>	C	1	3	<i>Nephtys oligobranchia</i>	C	1	2
Nassariidae unid.	C	1	2	<i>Nereis longior</i>	C	1	2
Naticidae unid.	C	1	2	<i>Nothria</i> sp.	SDF	2	2
<i>Nitidotellina minuta</i>	SDF	2	3	<i>Notomastus</i> sp.	SSDF	3	4
<i>Paphia nudulata</i>	FF	1	2	<i>Ophelina acuminata</i>	SSDF	3	4
Philinidae unid.	C	1	2	<i>Paralacydonia paradoxa</i>	SSDF	3	4
<i>Raetellops pulchella</i>	SDF	4	5	<i>Paraprionospio pinnata</i>	SDF	4	5
<i>Saxidomus purpuratus</i>	FF	1	2	<i>Perolepis</i> sp.	C	1	2
<i>Tapes philipinarium</i>	FF	4	2	<i>Pherusa plumosa</i>	SDF	2	2
<i>Theora fragilis</i>	FF	4	5	<i>Phylo felix asiaticus</i>	SSDF	3	2
Veneridae unid.	FF	1	2	<i>Pilargis</i> sp.	C	1	2
<i>Volutharpa</i> sp.	C	1	2	<i>Pista cristata</i>	SDF	2	1
Gsatropoda sp. 1	C	1	2	<i>Poecilochaetus johnsoni</i>	SDF	3	4
Phylum Annelida				<i>Polydora ligni</i>	SDF	4	5
Polychaeta				<i>Praxillella affinis</i>	SSDF	3	1
<i>Amatea</i> sp.	SDF	2	3	<i>Prionospio cirrifera</i>	SDF	2	3
<i>Ampharete arctica</i>	SDF	2	1	<i>Prionospio japonicus</i>	SDF	2	3
<i>Amphinome</i> sp.	SDF	2	3	<i>Pseudopolydora</i> sp.	SDF	4	5
<i>Amphisamytha japonica</i>	SDF	2	3	<i>Scolecopsis</i> sp.	SSDF	4	3
<i>Amphiteis gunneri</i>	SDF	2	3	<i>Scoloplos armiger</i>	SSDF	3	1
<i>Anaitides koreana</i>	C	1	2	<i>Sigambra tentaculata</i>	C	1	2
<i>Aricidea pacifica</i>	SSDF	3	4	<i>Spiophanes bombyx</i>	SDF	2	3
<i>Brada villosa</i>	SDF	2	2	<i>Sternaspis scutata</i>	SSDF	3	4
<i>Chaetozone setosa</i>	SDF	2	4	Syllidae unid.	C	1	2
<i>Chaetopterus</i> sp.	FF	1	1	<i>Tambalagamia fauveli</i>	C	1	2
<i>Chone</i> sp.	FF	1	2	<i>Terebellides horikoshii</i>	SDF	2	1
<i>Cirriformia tentaculata</i>	SDF	4	4	<i>Tharyx</i> sp.	SDF	2	4
<i>Clymenella koreana</i>	SSDF	3	1	<i>Thelepus</i> sp.	SDF	2	3
<i>Crysopetalum</i> sp.	SDF	2	3	Phylum Arthropoda			
<i>Diopatra sugokai</i>	C	1	2	Crustacea			
<i>Dorvillea</i> sp.	C	4	5	Amphipoda			
<i>Drilonereis</i> sp.	C	1	2	<i>Ampelisca bocki</i>	FF	1	1
<i>Eteone longa</i>	C	1	2	<i>Ampelisca brevicornis</i>	FF	1	1
<i>Euchone analis</i>	FF	1	2	<i>Ampelisca miharaensis</i>	FF	1	1
<i>Glycera chirori</i>	C	1	2	<i>Ampelisca misakiensis</i>	FF	1	1
<i>Glycinde</i> sp.	C	1	2	<i>Aoroidea comlumbiae</i>	SDF	1	1
<i>Goniada maculata</i>	C	1	2	<i>Byblis ampelisciformis</i>	FF	1	1
<i>Haploscoloplos elongatus</i>	SSDF	3	1	<i>Corophium acherusicum</i>	SDF	2	3
<i>Harmothoe</i> sp.	C	1	2	<i>Corophium crassicornae</i>	SDF	2	3

Appendix 1. Continued

Taxa	Feeding type	BPI	BC	Taxa	Feeding type	BPI	BC
<i>Corophium sinense</i>	SDF	2	3	Sphaeromatidae	SDF	2	1
<i>Caprella simia</i>	SDF	1	1	Decapoda			
<i>Erichthognius pugnax</i>	FF	1	1	<i>Arcinoplax vostitus</i>	C	1	1
<i>Gammaropsis</i> sp. 1	SDF	2	3	<i>Charybdis</i> sp. 1	C	1	1
<i>Grandidierella</i> sp. 1	SDF	2	1	Decapod sp.	C	1	1
<i>Grandifoxus</i> sp.	SDF	1	1	<i>Helica tridenssheni</i>	C	1	1
<i>Induenella</i> sp.	SDF	1	1	<i>Hemigrapsus</i> sp.	C	1	1
<i>Ischyrocerus</i> sp.	SDF	1	1	<i>Heptacarpus futihirostris</i>	C	1	1
<i>Jerbarnia</i> sp.	SDF	1	1	<i>Ilyaplax</i> sp.	C	1	1
<i>Marea</i> sp.	SDF	1	1	<i>Ilyaplax</i> sp. 2	C	1	1
<i>Melita koreana</i>	SDF	2	1	<i>Latreutes planirostris</i>	C	1	1
<i>Melita setiflagella</i>	SDF	2	1	<i>Leptochela gracilis</i>	C	1	1
<i>Melita longidactyla</i>	SDF	2	1	Megalopa	C	1	1
<i>Melita</i> sp. 1	SDF	2	1	Mysids	C	1	1
<i>Orchomene</i> sp. 1	SDF	2	1	<i>Pilumnus</i> sp. 1	C	1	1
<i>Photis</i> sp.	SDF	2	1	<i>Sesaorma</i> sp.	C	1	1
<i>Plioplateia</i> sp.	SDF	1	1	Shrimp	C	1	1
<i>Synchelidium lenorostratum</i>	C	2	1	Echinodermata			
Amphipoda unid.	SDF	2	1	Asteroidea			
Cumacea				<i>Asteria amurensis</i>	FF	1	2
<i>Bodotria</i> sp. 1	SDF	2	2	Ophiuroidea unid.	SDF	2	2
<i>Bodotria</i> sp. 2	SDF	2	2	<i>Amphiura</i> sp.	SDF	2	2
<i>Diamophostylis</i> sp.	SDF	2	2	<i>Amphioplus japonicus</i>	SDF	2	2
<i>Diastylis</i> sp.	SDF	2	2	Holothuroidea			
<i>Eocuma</i>	SDF	2	2	<i>Phyllophorus ordinatus</i>	SSDF	3	3
<i>Iphinoe</i> sp. 1	SDF	2	2	<i>Protankyra bidentata</i>	SSDF	3	3
<i>Iphinoe</i> sp. 2	SDF	2	2	Chordata			
Stomatopoda	C	1	1	Ascidiacea	FF	1	2
Isopoda				<i>Ciona intestinalis</i>	FF	1	2
<i>Rocimela</i> sp.	SDF	2	1	Fishes unid.	C	1	1