

## 이원방조제 주변의 조간대 및 조하대 대형저서동물의 군집과 환경요인과의 관계

이재학\* · 유옥환 · 이형곤 · 박자양<sup>1</sup>  
한국해양연구원 생물자원연구본부, <sup>1</sup>(주)이엔씨기술연구소

### Effect of Environmental Variables on the Inter- and Subtidal Macrobenthic Communities in the Iwon Dike Area

Jae-Hac LEE\*, Ok Hwan YU, Hyung-Gon LEE and Ja-Yang PARK<sup>1</sup>  
Marine Living Resources Research Division, Korea Ocean Research & Development Institute,  
Ansan, P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea  
<sup>1</sup>ENC Corporation, Incheon 405-224, Korea

Spatial patterns in the macrobenthic community structure in the inter- and subtidal zones in front of the Iwon Dike and environmental variables were examined in August 2001. In total, 156 macrobenthic species (123 intertidal species and 90 subtidal species) were recorded during this study, predominately polychaetes (40%), bivalves (22%), and crustaceans (22%). Polychaetes made up less than 40% of the intertidal community, but more than 50% of the subtidal community. The mean density during this study was 1,456 ind./m<sup>2</sup>. Multivariate analysis (multidimensional scaling) revealed significant differences in community structure among four regions: near the Iwon dike (B1), the high and middle intertidal zone (B2), low intertidal zone (A1), and subtidal zone (A2). The number of species, total density, and diversity (H') varied significantly among the four regions. The distribution of macrobenthic community was affected by environmental variables, such as % silt/clay content, total sulfide, loss of ignition, and chemical oxygen demand. These environmental variables were negatively correlated with the dominant species (*Nephtys polybranchia*, *Umbonium thomasi*, and *Scoloplos armiger*) in the intertidal area, but positively correlated with the dominant species (*Lumbrineris cruzensis*, *Notomastus latericeus*, and *Moerella* sp.) in the subtidal area. Environmental variables (% silt/clay content and total sulfide) were positively correlated with the dominant species (*Heteromastus filiformis*) in region B1, but negatively correlated with the dominant species (*Umbonium thomasi* and *Scoloplos koreanus*) in region B2. Amphipods *Urothoe* spp. and *Monoculodes koreanus* were the dominant species in region A1. *Umbonium thomasi*, the dominant species in region B2, was not found in regions B1 or A1. We suggest that the inter-specific competition for territory and exposure to seawater may be important factors controlling the macrobenthic community structure in the inter- and subtidal zones in front of the Iwon Dike.

Key words: Macrobenthic community, Intertidal, Subtidal, Environmental variables

#### 서 론

연안에 형성되는 갯벌은 육지와 해양의 중간에 상이한 생태계 사이에서 생태적 완충작용을 하며 생물의 생산과 서식처로서 그리고 서식생물이 주체가 된 환경조절 지역으로서의 기능 등 복잡한 생태적 구조를 갖추고 있다 (Je et al., 1998). 그러나 최근의 연안개발에 따른 간척 및 매립은 우리나라의 갯벌 면적의 30-40%를 감소시켰다 (MOMAF, 1998). 특히, 연안매립에 따르는 저층의 퇴적환경 변화는 저서생물의 분포에 직접적인 영향을 주고 있다 (Shin and Koh, 1990).

갯벌조간대에는 수많은 저서동물이 각각의 생태학적 지위에 적응해 살아가며, 이러한 저서동물의 분포에 영향을 주는 요인은 여럿 보고 되었는데, 크게 물리적 요인과 생물요인으

로 나눌 수 있다. 먼저, 물리적 요인으로는 노출에 따른 온도의 영향 (Gordon, 1960; Myer, 1977; Beukema, 1989)과 퇴적물의 입도 및 분급도에 따른 공극수의 유동 및 간극생물의 서식공간과 관련 있는 공극률 등의 퇴적환경 변화 (Sanders et al., 1962; Holland and Polgar, 1976; Koh and Shin, 1988)가 있고, 생물 요인으로 섭식생태의 차이에 따른 경쟁 (Mays and Howie, 1985)과 우점종에 의한 생물학적 교란작용 (Park et al., 1998)이 있다.

지금까지 갯벌에 사는 저서동물의 군집구조에 대한 연구들은 대부분 대기와 해수에 번갈아 노출되는 조간대 지역에서 이루어졌다 (Frey et al., 1987; Koh and Shin, 1988; An and Koh, 1992; Choi et al., 1998; Park et al., 1998; Hong and Yoon, 2000; Hong and Seo, 2001; Koo and Je, 2002). 그리고 조하대에 사는 저서동물의 군집구조에 대한 연구는 대부분 수심이 10

\*Corresponding author: jahlee@kordi.re.kr

m 이상인 곳에서 이루어 졌으나, 낮은 수심의 조하대 (<10 m)에 사는 저서동물의 군집구조에 대한 연구는 적다 (Lee et al., 1983; Choi and Koh, 1994; Lim and Choi, 1998; Lim and Hong, 2002). 더군다나, 공기에 노출된 조간대에서부터 시작하여 낮은 수심의 조하대까지 분포하는 저서동물의 군집구조에 대한 연속적인 연구는 매우 미비하다 (Shin et al., 1989; Lim et al., 1995).

조간대에서부터 조하대까지의 저서동물 군집구조는 크게, 조간대와 조하대로 구분되어지고 있으며, 이런 군집 구조에 영향을 주는 요인으로 퇴적물 성분과 유기물 함량 (Shin et al., 1989), 또는 조석에 따른 영향 (Lim et al., 1995)이라 추측하였지만, 이런 요인들이 군집구조에 영향을 주는지에 대한 평가는 실시되지 않았다. 또한, 각 군집에서 중요한 비중을 차지하고 있는 주요 우점종의 분포에 영향을 주는 환경요인에 대한 분석은 거의 없다.

이 연구는 “황해 연안역의 해양환경 복원을 위한 연구: 인공갯벌”연구의 일환으로 인공갯벌 조성실험 대상지역으로 선정된 이원방조제 외곽에 위치한 조간대와 10 m 수심 이하의 조하대 사이에서 나타나는 저서동물의 군집구조를 조사하였으며, 군집구조와 주요 우점종의 분포에 영향을 주는 환경요인을 평가하였다.

## 재료 및 방법

### 조사지역 개관

인공갯벌 조성실험 대상지역으로 선정된 이원방조제 외곽 해역 (민어포)의 연안에 자리하고 있는 조간대는 민어도 북단으로부터 방조제를 따라 북쪽으로 후망산 전방 해역까지 대략 6 km 정도이다 (Fig. 1). 조간대는 반일주조로, 대조기 조차가 6m에 달하는 대조차 조석 환경의 조간대이다. 해안선은 전체적으로 북서쪽을 향하여 V자 형태를 이루고 있다. 동측해안선

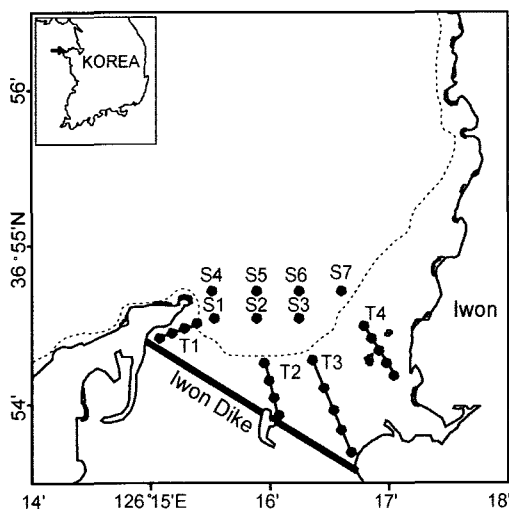


Fig. 1. Map of the study area in the tidal flats of the front of Iwon dike, with the location of the sampling sites.

은 남북방향으로 비교적 직선에 가까운 형태로 암반해안형태를 보이고 있다. 조간대 남측의 인공적인 해안선을 형성하는 이원 방조제는 자연 상태의 반폐쇄성 만의 입구를 봉쇄하는 북서-남동방향으로 축조되어, 대부분의 상부 및 중부 조간대는 육지화 되었으며, 현재의 이원 방조제의 조간대는 원래 저조선 근처의 하부 조간대이다. 조간대 단면의 고도차는 4 m 정도이고 경사도는 약 1:250로, 조하대로 갈수록 경사도는 증가한다. 조간대의 하부지역에는 굴 양식장이 광범위하게 발달되어있다. 해수의 흐름은 시계방향의 형태로, 썰물때에는 서쪽의 흐름을 보이고, 최 간조기와 밀물때에는 북쪽과 동쪽으로 향하며, 만조기에는 남쪽으로 흐른다.

### 대형저서동물

2001년 8월에 인공갯벌 조성실험 대상지역으로 선정된 이원방조제 외곽해역 (민어포)의 조간대 4개의 조사선 (Transect 1, 2, 3, 4)에서 각각의 조사선에 4-5개씩 모두 18개의 조사정점에서 대형저서동물을 채집하였다 (Fig. 1). 각 조사선에서의 정점은 조간대 지역을 넓이에 따라 등 간격으로 구분하였으며, Transect 1 (T1) 지역은 이원방조제 서쪽 끝에서 시작되었고, Transect 2 (T2) 지역은 이원방조제 동쪽 끝으로부터 방조제를 따라 서쪽방향으로 1 km 떨어진 방조제 인접 지점에서 시작되었다. Transect 3 (T3) 지역은 방조제 동쪽 끝에서부터 시작되었고, Transect 4 (T4) 지역은 T3으로부터 1 km 정도 북쪽으로 치우쳐 T2와 거의 나란하게 시작되었다. 또한, 조하대의 경우는 조간대 조사선과의 연결선 상에 위치하고 있는 7개 정점을 정하고, 대형저서동물을 채집하였다. 조하대의 S1과 S2 정점, S2와 S5 정점, S3와 S6 정점 그리고 S7 정점들은 각각 T1, T2, T3 그리고 T4 조사선의 연장선 지역에 위치해 있었다.

조간대 대형저서생물의 시료채집은 각 정점에서 can corer (12×22 cm)를 사용하여 20 cm 깊이까지 정점당 4회씩, 조하대 시료의 경우는 van Veen grab (31×33 cm)을 사용하여 정점당 3회씩 반복채집 하였다. 저서생물이 서식하는 퇴적물은 채집 현장에서 직경 1 mm 망목의 체에 거른 다음 잔존물 모두를 해수로 희석한 10%의 해수 중성포르말린 용액에 고정하였다. 고정된 시료는 실험실로 운반하여 생물체를 분리하여 분류군에 따라 선별한 다음, 최종적으로 해부현미경 하에서 종 수준까지 동정하고 계수하였다.

### 환경요인

환경요인 분석을 위해 채집된 퇴적물은 냉동 보관하였으며, 모래성분이 많은 것은 제외하고 동결 건조시킨 후 막자사발로 분쇄하여 분석 전까지 보관하였다. 실험실에서 환경요인으로 유기탄소, 총인, 총질소, 총황의 농도, 강열감량 (IL), 화학적산소요구량 (COD)를 측정하였다. 또한, 퇴적물의 입도는 Folk and Ward (1957)방법에 따라, 평균입도 (Mz), 분급도 (SD), 왜도 (Skewness) 및 첨도 (Kurtosis)를 측정하였다. 환경요인 분석에 대한 자세한 설명은 KORDI (2002)에서 서술하였다.

## 자료분석

저서동물의 각 정점별 생태환경 분석을 위한 지표로서 Shannon and Weaver (1963)의 종 다양성 지수 (Diversity index, H')와 Pielou의 균등도 지수 (Evenness, J)를 분석하였다. 조사선 및 정점별 종조성과 그에 따른 지역별 유사도 측정을 위해 정점별 총 출현 개체수의 3% 이상 자료를 이용하여 Bray-Curtis의 유사도지수를 구하여 가중 평균결합법으로 정점간의 수지도 (dendrogram)로 작성하였다. 또한, 출현 종 별 개체수 자료를 이용하여 MDS (non-metric multidimensional scaling) 배열법으로 군집분석을 하였다 (Clarke, 1993).

군집분석의 결과로 구분되어지는 각 지역의 유의한 차이를 보기 위해 one-way ANOSIM 평가를 실시하였으며, 각 지역의 구분에 영향을 미치는 저서동물을 파악하기 위해 SIMPER (similarity-percentages procedure) 분석을 실시하였다 (Primer 5.0, Primer-E Ltd.). 또한, 각 지역에 출현하는 종수와 밀도의 유의한 차이를 파악하기 위해, 각각 Kruskal-Wallis test와 one-way ANOVA test를 실시하였다 (SigmaStat 3.0, SPSS Inc.). 저서동물의 군집분석에 영향을 끼치는 환경요인을 파악하기 위해 BVSTEP (Biota-environment matching using step algorithm) 평가를 실시하였으며 (Clarke and Ainsworth, 1993), BVSTEP에 의한 최상의 환경요인과 저서동물 군집간의 유의성 평가를 위해 Relate test ( $P < 0.05$ )를 실시하였다 (Clarke and Warwick, 1994).

## 결 과

## 저서환경

조간대의 표층퇴적물은 모래함량이 90%이상을 차지했다. 평균입도는  $0.087 \pm 0.026$  mm로 미세립질 모래이고, 분급도는 0.4  $\phi$ 로 나타났다. 이원방조체에 인접한 T1지역에서 실트 및 점토의 함량이 30% 이상 증가하였으며, 평균입도는  $0.06 \pm 0.018$  mm를 보였고, 분급도는 0.6  $\phi$  이상으로 가장 분량했다. T1 지역을 제외한 조간대 우측의 지역에는 평균입도가  $0.094 \pm 0.02$  mm 로 조립한 퇴적물이 분포했다. 조하대의 표층 퇴적물은 실트질 모래 또는 니질모래로, 그리고 서쪽과 남쪽 조하대의 일부는 암반이나 역질 모래 퇴적물로 구성되어졌다 (Table 1).

유기탄소의 양은 조간대에서 평균 0.3%, 조하대에서 평균 0.7%로서, 조간대와 조하대 사이에 유의한 차이가 나타났으며 (one-way ANOVA test:  $F=13.46$ ,  $df=1$ ,  $P=0.001$ ), 조간대에서는 조사선과 조사선 내의 정점에서도 변화범위가 컸으며, 조하대에서는 S7과 S5 정점을 제외하고는 균일하였다. 총인을 제외한 총황과 강열감량 그리고 화학적 산소 요구량은 조간대보다는 조하대 정점에서 높은 값을 보였다 ( $P < 0.05$ ) (Table 1).

## 저서동물

조간대에서 선정된 4개 조사선의 18개 정점에서 실시된 대형저서생물상 조사에서 모두 122종이 나타났으며, 평균밀

Table 1. Values of the environmental variables at each sampling site of Iwon tidal area during August 2001

Site	Sand (%)	Silt/Clay (%)	Mean grain size (mm)	Ignition Loss (%)	Sulfide (%)	Carbon (%)	Nitrogen (%)	TP (ug/g)	COD (mg/g)
T1-1	67.4	31.4	0.08	3.00	0.04	0.26	0.05	415.0	4.66
T1-2	48.1	51.9	0.04	3.10	0.03	0.31	0.06	401.0	4.82
T1-3	58.0	41.7	0.05	3.31	0.04	0.32	0.06	406.0	4.58
T1-4	63.2	36.0	0.07	6.88	0.06	1.10	0.15	489.0	14.98
T2-1	81.7	18.3	0.08	3.21	0.02	0.19	0.06	358.0	3.86
T2-2	87.6	12.1	0.08	2.94	0.01	0.19	0.06	380.0	4.58
T2-3	96.3	3.8	0.11	2.44	0.01	0.16	0.05	230.0	2.74
T2-4	88.2	11.8	0.11	4.35	0.03	0.30	0.08	351.0	5.30
T3-1	82.2	17.8	0.1	3.09	0.02	0.29	0.07	460.0	5.46
T3-2	92.4	7.6	0.08	2.54	0.01	0.18	0.06	492.0	3.00
T3-3	95.8	4.2	0.1	2.38	0.01	0.17	0.05	545.0	2.64
T3-4	97.9	1.7	0.14	1.77	0.01	0.07	0.04	254.0	1.06
T3-5	76.1	23.9	0.07	5.12	0.03	0.45	0.10	479.0	9.54
T4-1	68.8	31.2	0.07	4.52	0.01	0.58	0.11	453.0	9.84
T4-2	97.2	2.8	0.13	1.94	0.00	0.09	0.04	153.0	2.26
T4-3	71.8	28.2	0.06	5.63	0.07	0.53	0.10	547.0	9.40
T4-4	96.0	4.0	0.09	2.30	0.01	0.13	0.04	504.0	2.10
T4-5	95.8	4.2	0.1	1.78	0.00	0.08	0.05	444.0	1.30
S1	51.1	48.9	0.06	8.55	0.10	1.05	0.16	498.0	19.86
S2	53.0	47.0	0.04	7.26	0.09	1.00	0.16	513.0	16.97
S3	42.1	57.9	0.03	7.59	0.03	0.86	0.12	504.0	16.18
S4	58.8	41.2	0.05	6.95	0.03	0.73	0.12	445.0	13.62
S5	72.6	27.4	0.07	5.06	0.06	0.47	0.08	399.0	9.62
S6	49.3	50.7	0.04	7.19	0.08	0.77	0.13	516.0	16.58
S7	80.6	19.4	0.07	3.34	0.06	0.21	0.05	381.0	4.60

도는 2,386 개체/m<sup>2</sup>였다. 환형동물의 다모류는 36종으로 평균 밀도는 1,019 개체/m<sup>2</sup>였으며, 절지동물의 갑각류는 50종으로 평균밀도는 729 개체/m<sup>2</sup>였다. 갑각류는 전체 출현종의 42.3%로 최다 출현종수를 보였으나, 다모류의 출현 밀도는 절지동물 보다 1.4배 더 많았다. 연체동물은 27종이 나타났고, 평균밀도는 630 개체/m<sup>2</sup>로, 22%의 출현종 비율로, 앞의 두 상위 분류군과 함께 92.7%의 높은 출현 밀도를 보였다. 그 이외의 분류군은 평균서식밀도 50 개체/m<sup>2</sup> 이하로 낮았다 (Table 2).

Table 2. The number of species and mean density of the macrobenthic faunal groups in Iwon tidal area during August 2001

Taxa	Total number of species		Mean density (ind./m <sup>2</sup> )	
	Intertidal	Subtidal	Intertidal	Subtidal
Cnidaria	1	0	1	0
Nemertinaea	4	4	4	4
Bryozoa	1	0	0	0
Gastropoda	10	6	493	19
Bivalvia	16	11	137	217
Cephalopoda	1	0	0	0
Polychaeta	36	33	1,019	649
Mysidacea	0	1	0	1
Cumacea	2	4	3	3
Isopoda	2	1	1	6
Amphipoda	29	11	585	45
Anomura	2	1	10	3
Macrura	4	6	24	18
Brachyura	9	9	100	12
Leptostraca	1	0	1	0
Tanaidacea	1	0	5	0
Echinodermata	3	3	2	3
Total	122	90	2,386	980

총 18개 조간대 조사정점 중 9개 이상의 정점에서 나타나는 종은 모두 13종이며, 이들 중 가장 높은 밀도를 보인 종은 서해비단고둥 (*Umbonium thomasi*)으로 평균 454 개체/m<sup>2</sup>가 나타났으며, 이원방조체에 인접한 T1정점에서는 나타나지 않았다. 다음으로 다모류의 삼각모자갯지렁이 (*Scoloplos armiger*)와 남방백금갯지렁이 (*Nephtys polybranchia*)가 17개 정점에서 나타났으며 각각 평균밀도는 376 개체/m<sup>2</sup>와 301 개체/m<sup>2</sup>였으며, 94.4%의 높은 출현빈도를 나타냈다 (Table 3). 한편, 총 출현량의 1% 이상을 이루고 있는 종들 중 50% 미만의 출현빈도를 나타낸 종은 모두 11종으로, 이들 가운데 갑각류가 7종 (6종의 단각류 포함)이 조간대 하부의 특정 서식지에서만 나타났다.

조간대 조사지선과 연결선 상에 위치하는 7개의 조하대 정점의 대형저서생물상 조사결과 모두 90종으로 평균밀도는 980 개체/m<sup>2</sup>였다 (Table 2). 다모류는 33종의 649 개체/m<sup>2</sup>, 그리고 갑각류는 33종의 88 개체/m<sup>2</sup>가 나타났다. 환형동물과 절지동물은 전체 출현종의 76.3%를 차지하며 최다 출현종수를 보였으나, 다모류의 출현 개체수는 절지동물 보다 7.3배 높았다. 연체동물은 17종의 236 개체/m<sup>2</sup>로 18.9%의 출현종

비율을 보였으며, 두 우점 상위분류군과 함께 95.2%의 출현율을 보여 출현종의 대부분을 차지했다.

총 7개 조하대 조사정점 중 5개 이상의 정점에서 나타나는 종은 모두 20종이며, 다른 종에 비해 높은 출현개체수를 나타낸 송곳갯지렁이류인 *Lumbrineris cruzensis*는 평균 304 개체/m<sup>2</sup>로, 7개 정점 모두에서 나타나 출현개체수와 함께 100%의 출현빈도를 나타냈다 (Table 3). 다모류인 가는버들갯지렁이 (*Notomastus latriceus*) 역시 모든 정점에서 나타났고, 출현 개체수는 184 개체/m<sup>2</sup>로 두 번째로 우점하였다. 출현빈도 70% 이상을 나타내는 20종에는 다모류가 8종, 연체동물 7종 그리고 갑각류 5종으로 구성되어 있다. 한편, 총 출현량의 1.0% 이상을 이루고 있는 종들 중 50% 미만의 출현빈도를 나타낸 종은 모두 3종으로, 다모류 2종과 바지락 (*Ruditapes philippinarum*)이었다.

조간대 상부에서부터 시작하여 조간대 하부에 연결된 조하대 지역까지 나타나는 종수와 출현 밀도의 분석 결과, 4개의 조사선 모두 조간대 지역에서 종수가 20종 이하로 일정하게 나타났다. 그러나 대조때에만 노출되어지는 조간대 하부에서부터 출현종수는 급격히 증가하였으며, 조하대 지역 내에서의 출현종수는 정점간에 비슷한 경향을 보였다 (Fig. 2). 조간대와 조하대에서 나타나는 출현 밀도의 변화는 종수와 반대의 경향을 보였다. 즉, 조간대 상부에서 하부 지역으로 출현 밀도는 증가하지만, 조하대가 시작되면서 출현 밀도는 급격히 감소하였다 (Fig. 3).

#### 군집분석 및 환경요인과의 관계

이원방조제 부근의 조간대와 조하대 25정점에서 나타나는 종별 개체수 자료를 사용하여 집괴분석과 배열법으로 조사정점간 유사도를 구한 결과, 크게 조간대 하부를 포함하는 조하대 지역 (A지역)과 조간대 지역 (B지역)으로 구분되었다. A지역은 대조때에만 물에 노출되어지는 조간대 하부지역 (A1)과 항상 물에 잠겨있는 조하대 지역 (A2)으로 구분되어지며, B지역은 이원방조체에 근접한 T1지역 (B1)과 나머지 조간대 지역 (B2)으로 구분되어졌다 (Fig. 4). 이들 4지역에 나타나는 종들의 조성은 ANOSIM 테스트 결과 유의한 차이를 보였다 (Table 4).

4지역에서 나타나는 출현종수는 서로간에 유의한 차이를 보였으며 (Kruska-Wallis test;  $H=16.71$ ,  $df=3$ ,  $P<0.001$ ), B지역 보다 A지역에서 출현종수가 높았다. 출현 밀도는 4지역간 유의한 차이를 보였으나 (one-way ANOVA test;  $F=6.76$ ,  $df=3$ ,  $P=0.002$ ), 조하대 지역인 A2지역에서만 낮게 나타났고, 나머지 3지역에서는 비슷한 경향을 보였다 (Fig. 5). 종다양성 지수 (H')는 4지역에서 뚜렷한 차이를 보였으며 (one-way ANOVA test;  $F=4.5$ ,  $df=3,21$ ,  $P<0.01$ ), 4지역 안에서는 조간대 하부지역인 A1과 조간대 지역인 B2지역에서 유의한 차이를 보였다 (Holm-Sidak test,  $P<0.05$ ). 그러나 균등도 지수 (J)는 4지역간에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

군집분석에 의해 나누어진 4지역의 구분에 영향을 끼친

Table 3. Frequency and mean density of dominant species in Iwon tidal area during August 2001

Tidal zone	Species	Group	Frequency		Density	
			Occurrence	%	ind./m <sup>2</sup>	%
Intertidal zone	<i>Umbonium thomasi</i>	g	11	61.1	454	19.0
	<i>Scoloplos armiger</i>	p	17	94.4	376	15.7
	<i>Nephtys polybranchia</i>	p	17	94.4	301	12.6
	<i>Microdeutopus anomalus</i>	a	7	38.9	169	7.1
	<i>Urothoe</i> sp. 2	a	4	22.2	106	4.4
	<i>Monoculodes koreanus</i>	a	14	77.8	84	3.5
	<i>Corophium</i> sp. 2	a	6	33.3	63	2.6
	<i>Lumbrineris cruzensis</i>	p	7	38.9	51	2.2
	<i>Macrophthalmus japonicus</i>	br	8	44.4	51	2.1
	<i>Heteromastus filiformis</i>	p	10	55.6	49	2.0
	<i>Tharyx</i> sp.	p	9	50.0	45	1.9
	<i>Aricidea pacifica</i>	p	9	50.0	41	1.7
	<i>Grandidierella japonica</i>	a	7	38.9	39	1.6
	<i>Erichthonius</i> sp. 2	a	3	16.7	38	1.6
	<i>Mactra chinensis</i>	bi	4	22.2	38	1.6
	<i>Ruditapes philippinarum</i>	bi	14	77.8	37	1.5
	<i>Notomastus latriceus</i>	p	6	33.3	33	1.4
	<i>Macrophthalmus dilatatus</i>	br	9	50.0	32	1.3
	<i>Moerella</i> sp.	bi	7	38.9	29	1.2
	<i>Urothoe</i> sp. 1	a	4	22.2	24	1.0
<i>Spio</i> sp.	p	9	50.0	24	1.0	
Subtidal zone	<i>Lumbrineris cruzensis</i>	p	7	100.0	304	31.0
	<i>Notomastus latriceus</i>	p	7	100.0	184	18.8
	<i>Ruditapes philippinarum</i>	bi	1	14.3	83	8.5
	<i>Moerella</i> sp.	bi	7	100.0	61	6.2
	<i>Prionospio cirrifera</i>	p	3	42.9	30	3.1
	<i>Alvenius ojanus</i>	b	6	85.7	26	2.7
	<i>Nephtys polybranchia</i>	p	6	85.7	19	1.9
	<i>Scoloplos armiger</i>	p	7	100.0	19	1.9
	<i>Sigambra tentaculata</i>	p	5	71.4	18	1.8
	<i>Raeta pulchella</i>	bi	5	71.4	18	1.8
	<i>Eriopisa</i> sp.	a	5	71.4	12	1.3
	<i>Mactra chinensis</i>	bi	6	85.7	12	1.2
	<i>Terebellides horikoshii</i>	p	2	28.6	11	1.1
	<i>Heteromastus filiformis</i>	p	6	85.7	10	1.1
	<i>Aricidea (Acesta) assimilis</i>	p	6	85.7	10	1.0

p: Polychaeta, bi: Bivalvia, g: Gastropoda, a: Amphipoda, br: Brachyura

저서동물의 종조성을 표5에서 나타냈다. A지역에는 다모류인 *L. cruzensis*와 *N. latriceus* 그리고 이때패류인 *Moerella* sp 종의 영향이 가장 크게 나타났다. 특히, *L. cruzensis*는 조하대 지역인 A2지역에서만 높은 개체수가 나타났으며, *N. latriceus*와 *M. sp.*는 A1과 A2지역 모두에서 높게 나타났다 (Fig 7). 조간대 하부에 속하는 A1지역은 저서성 단각류인 *Urothoe* sp. 2와 *Montoculodes koreanus*가 높게 나타났으며, 다모류인 *S. armiger* 또한 A2지역보다 높게 나타났다. 조간대지역인 B지역에는 다모류인 *N. polybranchia*와 *S. armiger* 그리고 서해비단고둥의 영향이 가장 컸다. 이원방조제 근처에 속하는 B1지역은 다모류인 버들갯지렁이 (*Heteromastus filiformis*)와 길게 (*Macrophthalmus japonicus*)의 밀도가 B2지역보다 높았으나, B2지역은 서해비단고둥이 높게 나타났다 (Fig. 7).

대형저서동물 군집과 군집분포에 영향을 끼치는 여러 환경요인을 BVSTEP 평가에 의한 결과, 대형저서동물 군집은 퇴적물의 실트 및 점토의 함량비율과 총황과 강열감량 (IL)과 화학적산소요구량 (COD)에 의해 가장 큰 영향을 받았다 ( $\sigma = 0.5$ ,) (Relate test; Rho=0.4, P<0.001). A지역에 높은 밀도를 보이는 *L. cruzensis*, *N. latriceus*, *Moerella* sp.는 환경요인과 관계에서 양의 상관관계를 보이고 있으며, B지역에서 많이 나타나는 다모류 *N. polybranchia*와 *S. armiger*와 서해비단고둥은 여러 환경요인과 음의 상관관계를 나타냈다 (Table 6). 특히, 조간대 하부에 속하는 A1지역에 많이 나타나는 *S. armiger*와 *M. koreanus*는 여러 환경요인과 음의 상관관계를 보여 조하대인 A2지역에서 여러 환경요인과 양의 상관관계를 나타내는 생물그룹과 반대의 경향을 보였다. 조간대지역

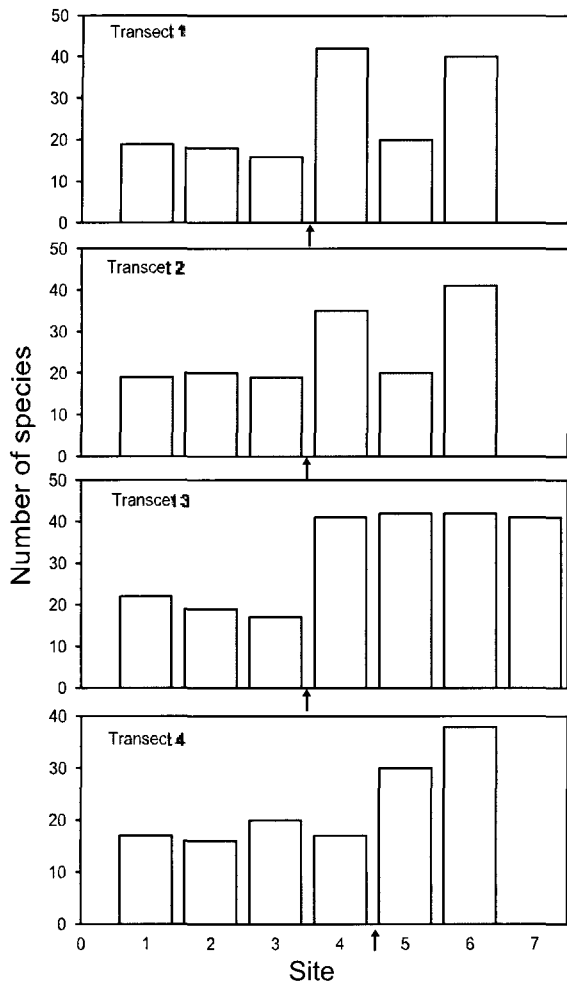


Fig. 2. Species number of total macrobenthic fauna at four transect lines. The arrows (↑) indicate the margin of the submerged area in the study area.

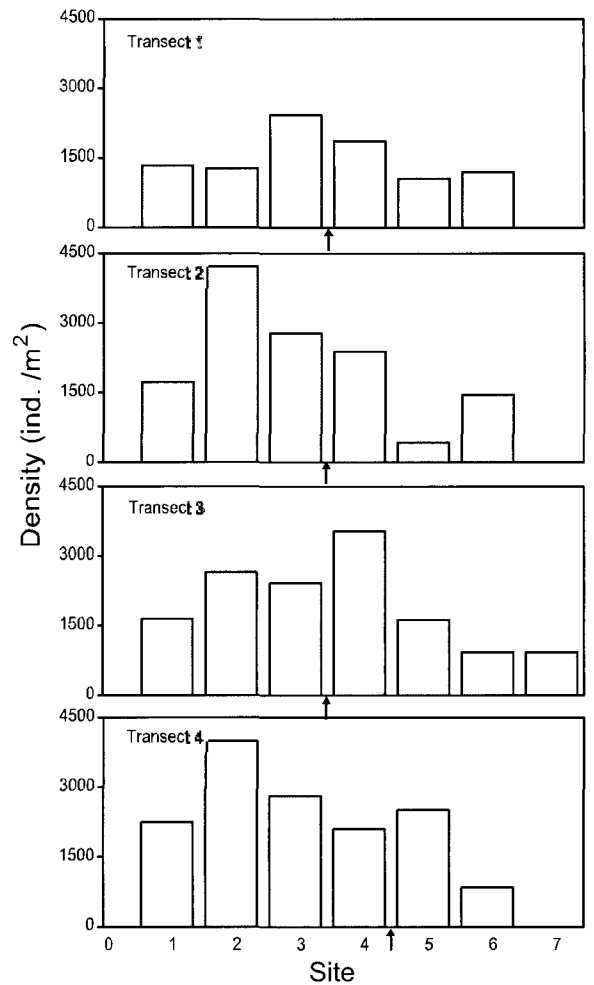


Fig. 3. Total density of macrobenthic fauna at four transect lines. The arrows (↑) indicate the margin of the submerged area in the study area.

인 B2지역에서 우점하는 서해비단고둥은 퇴적물의 점토 및 실트의 양과 총 황에 음의 상관관계를 보였지만, B1지역에 우점한 *H. filiformis*는 퇴적물의 점토 및 실트의 양과 총 황에 양의 상관관계를 보였다 (Table 6).

### 고찰

이월방조제 부근의 조간대와 조하대에서는 각각 122종과 90종의 저서동물이 채집되었으며, 두 곳을 모두 합해 156종으로 평균밀도는 1,456 개체/m<sup>2</sup>이었으며, 다모류가 40%, 연체동물과 갑각류의 단각류가 각각 22%를 차지하였다. 경기내만의 조간대와 조하대에서 동시에 채집한 결과, 87종 550 개체/m<sup>2</sup> (Shin et al., 1989)의 평균밀도와, 영종도 인근 해역에서는 266 종과 498 개체/m<sup>2</sup>의 저서동물이 나타났다 (Lim et al., 1995). 경기만 일대의 두 지역에서 출현하는 저서동물의 평균개체수를 고려한다면, 이 연구지역에서의 개체수는 경기만 일대의 지역과 비슷한 경향이 나타났다. 이와 같은 결과는 경기내만

Table 4. Results of the ANOSIM and pair-wise tests for difference on macrobenthic community between zones of the Iwon tidal area during August 2001. Analyses performed on square-root transformed data

	Macrobenthos	
	Global R	p value
Global test	0.963	0.001
Zones compared		
B1 vs. A2	1.000	0.006
B1 vs. B2	0.922	0.003
B1 vs. A1	1.000	0.029
A2 vs. B2		0.001
A2 vs. A1	0.879	0.002
B2 vs. A1	0.958	0.001

에서의 미 동정된 출현종에 의한 과소평가와 (Shin et al., 1989), 영종도 인근해역의 각 계절에 출현한 개체수의 유사한 비율도 이를 뒷받침하고 있다고 여겨진다. 그러나 이 연구

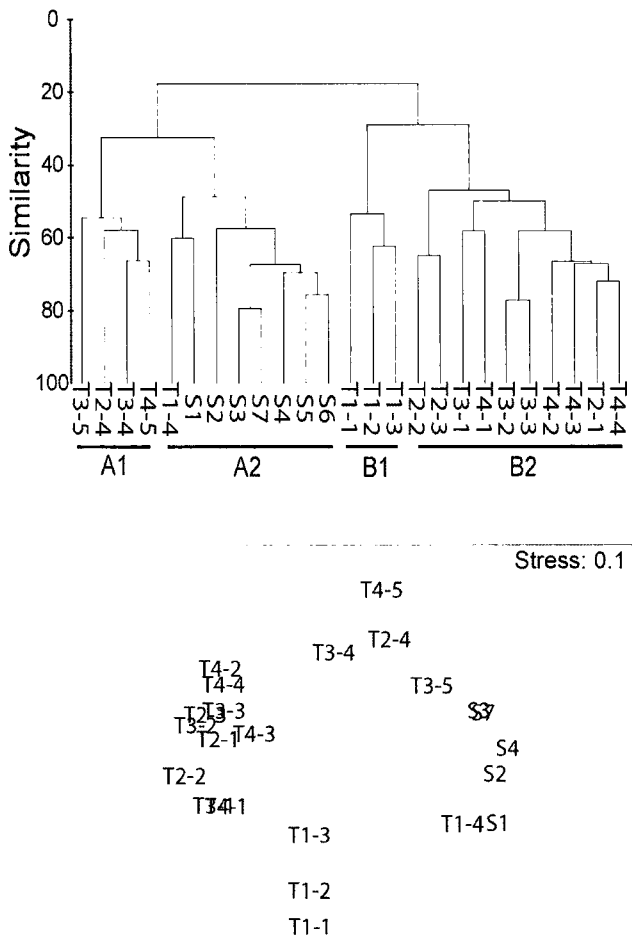


Fig. 4. Dendrogram of Bary-Curtis similarity and multidimensional scaling ordinations (MDS) plot of the sampling sites based on the density of macrobenthic species.

지역의 저서동물의 평균밀도는 경기만 일대의 두 지역보다 3배 이상 높게 나타났다. 이러한 이유로 첫째, 조사시기의 차이에 의한 평균밀도의 차이를 고려해 볼 수 있다. 이전의 두 연구는 모두 계절적인 조사의 결과로 이 연구에서 (여름철)의 채집시기와 차이가 있다. 그러나 경기만 일대의 두 연구지역에서의 계절적인 평균밀도를 고려했을 때, 이 연구 지역에서 높은 밀도를 보여, 단지 조사시기의 차이에 의한 결과로 생각할 수 없다. 그렇지만, 지역적인 차이에 의한 출현종의 변화가 나타나고, 우점하는 종의 서식환경이 적합한 경우에는 개체수의 증가가 나타난다. 이 연구지역에서 우점하는 저서동물의 종조성은, 경기만의 두 지역과 뚜렷한 차이가 있었으며 (Lim et al., 1995), 퇴적상 또한 차이가 나타났다. 이 연구지역에서의 퇴적상은 조간대에서 사질이 80% 이상을 나타내며, 경기만의 두 지역은 퇴적상이 혼합지역으로, 정점마다 모래, 펄, 자갈들의 성분이 변하였다. 또한, 이 연구지역에서는 사질이 우점한 조간대에 서해비단고둥과 저서성 단각류의 평균밀도가 다른 연구지역에 비해 매우 높았다. 서해안 조간대의

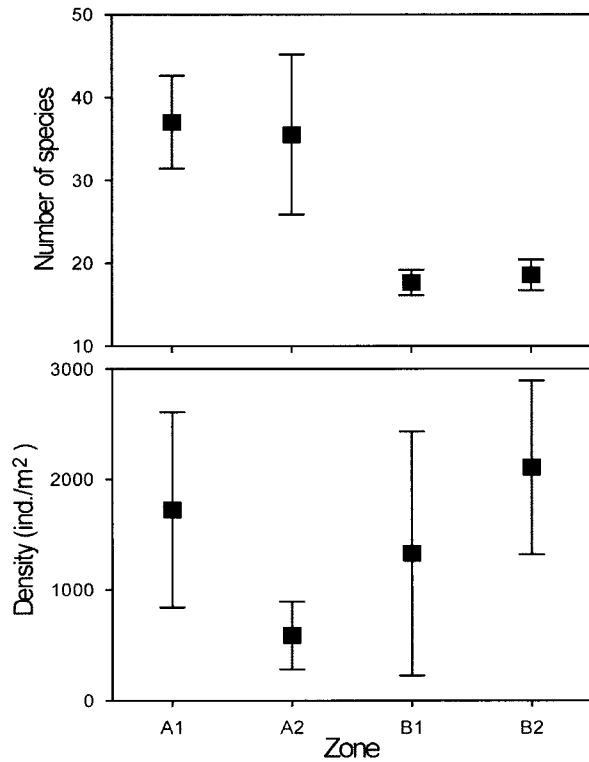


Fig. 5. Means and standard errors for numbers of taxa and densities of total macrobenthos within the four zones.

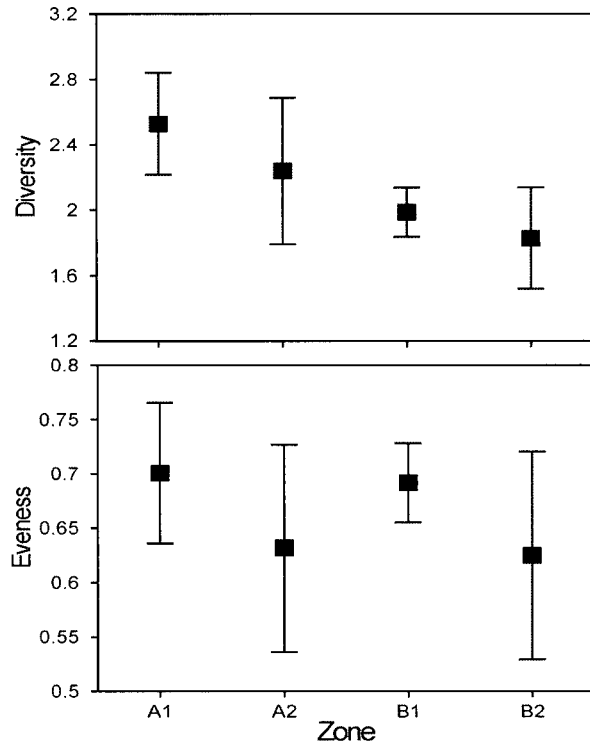


Fig. 6. Means and standard errors for diversity and evenness of total macrobenthos within the four zones.

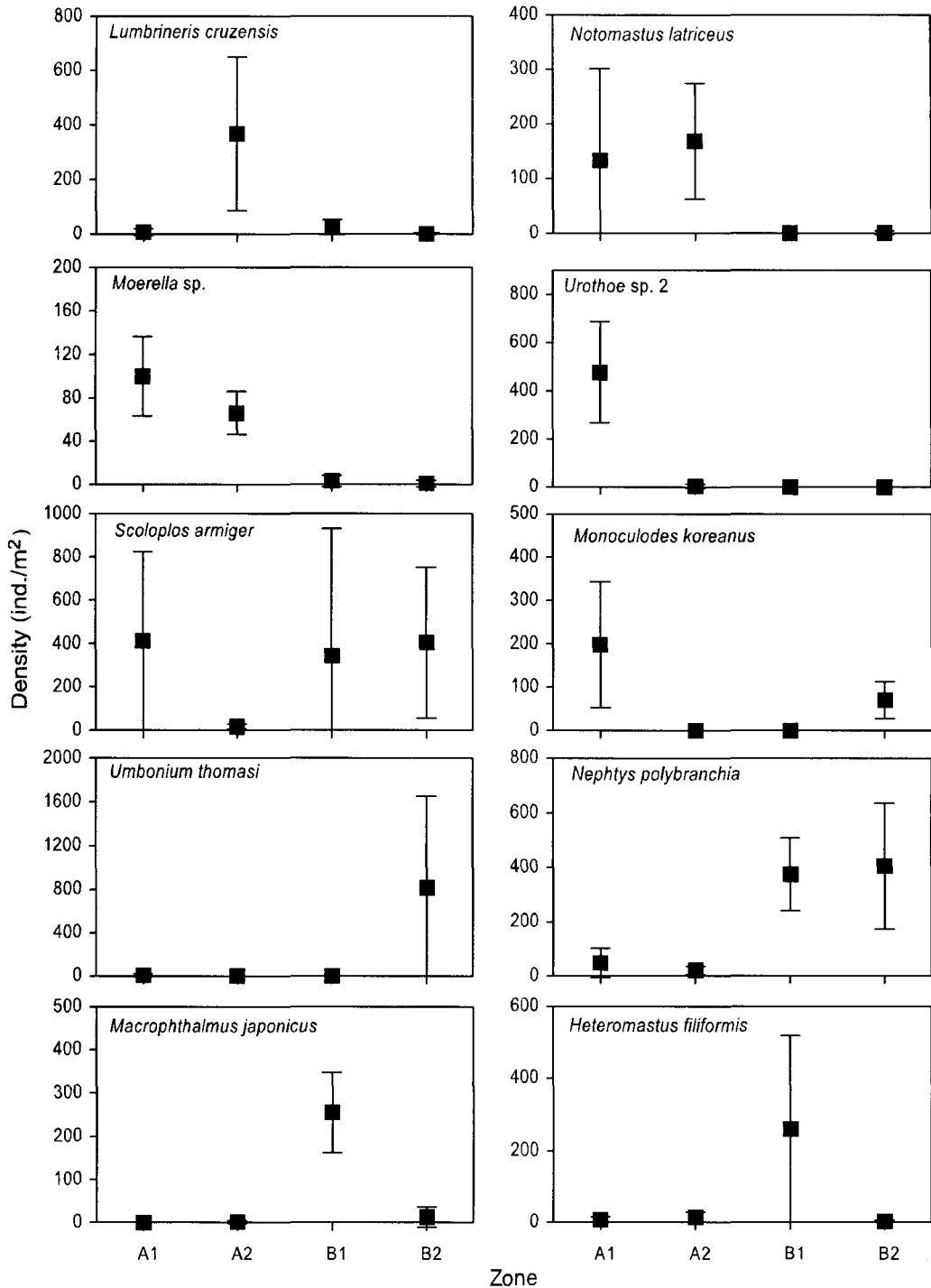


Fig. 7. Density of the macrofauna taxa that contributed most to the breakdown of average similarities (SIMPER) within the respective sites.

저서동물의 분포양상이 퇴적상에 따라 뚜렷한 차이를 보이고 있으며 (An and Koh, 1992; Koh, 1997; Choi et al., 1998), 모래조간대에 출현하는 저서동물 중에 저서성 단각류가 높게 나타난다고 보고 되었다 (Hong and Yoon, 2000). 특히, 모래조간대에 단각류의 높은 출현은 모래속에 파고드는 능력이 다른

분류군에 비해 뛰어난 특성을 가지고 있다 (Brown and McLachlan, 1990). 그러므로, 이 연구지역에서 높은 개체수와 높은 밀도는 사질 퇴적환경에 적응한 저서동물 (서해비단고둥과 저서성 단각류)의 생활방식으로 여겨진다.

조간대에서는 다모류의 종조성은 40% 이하였으며, 단각류와



Table 5. Summary of results from a SIMPER analysis, comparing the major aspects of the macrobenthic communities across the intertidal and subtidal zones in Iwon area during August 2001

Zone	Species	Contribution (%)	Accumulation (%)
B	<i>Nephtys polybranchia</i>	36.37	36.37
	<i>Umbonium thomasi</i>	23.08	59.44
	<i>Scoloplos armiger</i>	19.42	78.87
A	<i>Lumbrineris cruzensis</i>	28.68	28.68
	<i>Notomastus latriceus</i>	25.44	54.12
	<i>Moerella</i> sp.	14.54	68.66
B1	<i>Nephtys polybranchia</i>	40.89	40.89
	<i>Macrophthalmus japonicus</i>	26.60	67.49
	<i>Heteromastus filiformis</i>	17.57	85.06
B2	<i>Umbonium thomasi</i>	33.31	33.31
	<i>Nephtys polybranchia</i>	26.29	59.60
	<i>Scoloplos armiger</i>	19.46	79.06
A1	<i>Urothoe</i> sp. 2	34.15	34.15
	<i>Scoloplos armiger</i>	15.58	49.74
	<i>Mactra chinensis</i>	9.88	59.61
	<i>Monoculodes koreanus</i>	9.71	69.33
A2	<i>Lumbrineris cruzensis</i>	44.00	44.00
	<i>Notomastus latriceus</i>	25.52	69.52
	<i>Moerella</i> sp.	12.18	81.70

연체동물의 종조성이 약 50% 가까이 높게 나타났다. 조하대에서는 다모류와 이매패류의 종조성이 각각 53%와 32%였다. 조간대 상부에서 중부까지는 복조류인 서해비단고둥이 약 20%로 높았다. 경기만의 조간대에서도 다모류의 비율은 41%였으나, 조하대로 갈수록 약 85%까지 증가하였다. 반면에, 남해안이나 동해안에는 단일 분류군에 속하는 다모류의 비율이 80% 이상 높게 나타났다 (Lee, 1976; Yi et al., 1982). 이와 같이 서해안 조간대에 다모류가 낮은 이유를 서해안의 광범위한 조간대의 발달에 따른 연체동물인 *Mactra veneriformis*의 증가에 따른 결과로 보았다 (Shin et al., 1989). 또한, 서해안 사질조간대에 많이 나타나는 서해비단고둥은 주변에 서식하

는 우점종의 분포에 영향을 주고 있으며, 특히, 크기가 작고, 표층 부근에 서식하는 다모류와 이매패류의 생물들에게 영향을 미치는 것으로 알려졌다 (Park et al., 1998). 그러므로 이 연구 지역의 조간대에서의 대형저서동물의 다양한 종조성은 서해안 조간대의 광범위한 넓이에 따른 각 분류군의 적응방식과 종간의 생물적인 교란에 의한 결과로 여겨진다.

이 연구에서 대형저서동물의 종수와 밀도는 지역별로 뚜렷한 차이가 나타났다. 즉, 조간대에서는 대형저서동물의 종수가 조하대보다 낮고, 밀도는 높았다. 반면에, 조하대에서의 종수는 조간대 보다 증가하였으나, 밀도는 급격히 감소하였다. 저서동물의 분포는 서식 기질인 퇴적물의 입도와 밀접한 관계를 가지고 있다. 다양한 퇴적물의 입도 조성은 저서동물의 종수와 밀도를 증가시킨다 (Lee et al., 1983; Choi and Koh, 1984). Shin et al. (1989)은 경기내만 조하대 하부 수로에서 다양한 종조성과 높은 밀도는 퇴적물의 조성과 유기물의 증가와 관계가 있다고 했다. 퇴적물의 환경 지표로 이용되는 분해성 유기물인 화학적산소요구량 (COD) 값이 높을수록 저서생물에 저해한 것으로 알려지고 있다. 이 연구지역에서 퇴적물의 조성은 조간대와 조하대 사이에 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 반면에, 유기물 양을 나타내는 강열감열과 COD의 값은 조간대보다 조하대에서 높았다. 그러므로 이 연구지역의 조간대와 조하대에서 사는 대형저서동물의 종수와 밀도는 퇴적물의 유기물량에 의해 영향을 받는 것으로 여겨진다. 특히, 조간대 중에서 COD의 양이 3 mg/g 이하 그리고 유기탄소의 양이 0.2% 이하인 지역에서는 저서동물의 서식밀도는 높았다.

지금까지 이원방조제 근처에서 수행된 대형저서동물 군집에 연구결과, 이 연구의 조하대에 위치한 정점에서의 종 다양성 지수의 변동 폭은 1.56-2.48로, 평균적으로 이원방조제 주변 해역에 비해 약간 높은 값을 나타냈다 (KORDI, 2002). 이 연구에서 실시된 조하대 지역의 종 다양성 지수는 1.4-2.8로, 지금까지 연구된 값과 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 그러므로 이 연구지역은 1999년 말 이원방조제 제방의 완공에 따라 일차적인 수리퇴적환경의 변화와 함께 다소간 생태계

Table 6. The result of Spearman rank order correlation between the dominant macrobenthos and environmental variables in Iwon tidal area during August 2001. \*, P<0.05

Species	Sand	Silt/Clay (%)	Mean grain	Ignition Loss	Sulfide	Carbon	Nitrogen	TP	COD
<i>Heteromastus filiformis</i>	-0.44*	0.44*	-0.27	0.19	0.44*	0.34	0.17	-0.01	0.27
<i>Lumbrineris cruzensis</i>	-0.76*	0.76*	-0.73*	0.74*	0.7*	0.78*	0.64*	0.29	0.75*
<i>Macrophthalmus japonicus</i>	-0.28	0.28	-0.16	-0.06	0.2	0.08	-0.04	-0.11	0
<i>Mactra chinensis</i>	-0.1	0.1	-0.08	0.27	0.1	0.17	0.25	0.05	0.24
<i>Moerella</i> sp.	-0.22	0.22	-0.25	0.4*	0.29	0.33	0.3	0.09	0.32
<i>Monoculodes koreanus</i>	0.87*	-0.87*	0.82*	-0.73*	-0.78*	-0.78*	-0.6*	-0.23	-0.8*
<i>Nephtys polybranchia</i>	0.29	-0.29	0.28	-0.5*	-0.38	-0.41*	-0.4*	-0.23	-0.5*
<i>Notomastus latriceus</i>	-0.28	0.28	-0.3	0.54*	0.39*	0.42*	0.39	0.02	0.48*
<i>Scoloplos armiger</i>	0.65*	-0.65*	0.54*	-0.6*	-0.6*	-0.65*	-0.56*	-0.31	-0.7*
<i>Umbonium thomasi</i>	0.52*	-0.52*	0.47*	-0.38	-0.48*	-0.38	-0.25	-0.01	-0.4
<i>Urothoe</i> sp. 2	0.25	-0.25	0.24	-0.13	-0.18	-0.25	-0.24	-0.24	-0.2

변화를 겪으며 재형성되어 다시금 안정을 되찾아가는 환경으로 여겨진다.

서해안의 조간대에 나타나는 대형저서동물 군집은 3지역으로 나누어진다 (Frey et al., 1987; Koh and Shin, 1988; An and Koh, 1992; Choi et al., 1998). 조간대 상부지역의 계류군집과 중부지역의 연체동물군집과 하부지역의 가시땃해삼군집은 대규모의 조석지역이 보이는 아시아 지역과 유럽지역의 일반적인 현상으로 알려져 있다. 그러나 이원방조제 부근의 조간대의 대형저서동물 군집은 크게 2지역으로 나누어진다. 조간대 상부에서 중부까지는 서해비단고둥이 많이 나타났으며, 하부에는 저서성 단각류가 높게 나타났다. 서해비단고둥군집은 이원방조제 근처의 펄 성분이 강한 T1지역에는 전혀 나타나지 않았다. 이와 같은 이유는 첫 번째로, 서해비단고둥이 높게 나타나는 지역에서는 서해비단고둥의 높은 표층 점유율이 주위 저서동물의 분포에 영향을 주었을 것으로 여겨진다. 서해비단고둥은 표층하 5 cm 이하의 깊이에서 서식하는 내서동물에 영향을 주는 것으로 알려졌다 (Park et al., 1998). 특히, 서해비단고둥의 분포는 크기가 작고 표층부근에 서식하는 생물과 음의 상관관계를 가지고 있다. 그러므로 이 연구의 조간대 상부에서 중부까지 저서성 단각류가 많이 나타나지 않는 것은 서해비단고둥의 높은 출현에 따른 영향을 받았을 것으로 여겨진다. 이와 같이 서식지 교란에 따른 중간 분포에 대한 정확한 이해를 위해서는 많은 실험에 의한 연구가 필요하다. 두 번째로, 서해비단고둥군집이 사질이 우세한 조간대 지역에 나타나는 생태학적 특성에 의한 것으로 여겨진다. 저서동물의 분포는 조간대의 지형특성에 의한 퇴적상의 차이에 따라 달라진다. 특히, 매립과 제방건설로 인한 인위적인 교란에 의해, 지역간의 노출시간이나 퇴적상이 달라져 서식 우점종의 구성에 차이를 보인다 (Choi et al., 1998). Lee et al. (1998)에 의한 대부도 남사리 갯벌에 사는 대형저서동물의 군집은 상부와 중부와 하부의 3지역 (상부에 벼들갯지렁이류군집, 중부는 동죽군집 그러므로 하부는 참굴군집)으로 구분되어지며, 이런 군집구조는 하부에 인위적으로 조성한 굴양식장에 의해 저서동물의 분포가 영향을 받았다. 그러므로 이 연구에서의 저서동물 군집은 1999년 말 이원방조제 제방의 완공에 따른 수리퇴적학적인 변화와 조간대 하부에 광범위하게 발달된 굴양식장 등의 인위적인 환경의 영향을 받았을 것으로 여겨지며, 정확한 요인을 밝히는 일은 과제로 남는다.

이 연구에서 조간대지역과 조하대 지역의 군집구조는, 다시 조간대 지역에서 이원방조제 근처의 지역 (B1)과 그 이외의 지역 (B2)으로, 그리고 조하대 지역에서 대조때에만 노출되어지는 조간대 하부지역 (A1)과 조하대 지역 (A2)으로 구분되어졌다 (Fig. 6). 이와같은 대형저서동물의 군집구조에 영향을 미치는 환경요인으로, 퇴적물의 실트 및 점토의 함량비율과 총황과 강염감량 (IL)과 화학적산소요구량 (COD) 등의 유기물의 함량이 높게 나타났다. 퇴적물의 실트 및 점토의 함량과 유기물의 함량은 조간대 및 조하대에 우점하는 종간에 특이성

을 보였다. 조간대에서 이런 환경요인들의 값이 증가할수록 조간대 환경을 구분하는데 큰 역할을 하는 저서동물 (*N. polybranchia*, *U. thomasi*, *S. armiger*)의 밀도는 감소하였다. 반면에, 조하대에서는 군집에 영향을 끼치는 환경요인의 값이 증가할수록 조하대 환경을 대표하는 저서동물 (*L. cruzensis*, *N. latriceus*, *Moerella* sp.)의 밀도는 증가하였다. 조간대내의 B1과 B2 지역은 퇴적물의 실트 및 점토의 함량의 차이가 다른 환경요인에 비해 뚜렷하였다. 실트 및 점토 함량의 비율과 총황의 값에 양의 상관관계를 보이는 다모류 *H. filiformis*가 B1지역에 영향을 끼치는 종으로 나타났으며, B2 지역을 대표하는 서해비단고둥과, 다모류 *S. koreanus*는 퇴적물의 실트 및 점토의 함량과 유기물의 함량에 음의 상관관계를 보였다. 특히, B2지역에 우점하는 서해비단고둥은 B1지역에는 전혀 나타나지 않았다. 이와 같은 이유는 서해비단고둥이 사질이 우세한 조간대에 높게 출현하는 양상에 의한 것으로 설명되어질 수 있다.

조간대 B1지역의 하단부에 속하는 A1지역에는 저서성 단각류인 *Urothoe* sp. 2와 *Monoculodes koreanus*의 높은 밀도에 영향을 받았다. 이들 단각류들 밀도는 퇴적물의 실트 및 점토의 비율과 유기물의 함량과 음의 상관관계를 보였다 (Table 6). 이런 현상은 조간대 B1지역에 나타나는 종들과 비슷한 특성을 보였다. 그렇지만, B1지역에 우점하는 서해비단고둥의 출현과는 음의 상관관계를 보였다. 이와 같은 이유는 첫째, 서해비단고둥의 출현이 같은 지역에서 사는 저서동물의 출현에 영향을 주는 것으로 생각 되어진다 (Park et al., 1998). 특히, 서해비단고둥은 조간대 하부에서는 전혀 출현하고 있지 않아, 조간대내에서 저서동물의 적응방식과 상호작용에 의한 영향이 저서동물 군집에 큰 영향을 줄 것으로 여겨진다. 두 번째로, 조석에 의한 물리적인 이유로 여겨지는데, 저서동물의 군집분포는 물의 노출 정도에 따라 영향을 받는다 (Shin et al., 1989). 또한, Lim and Je (1998)는 경기만 탄도 조간대의 대형저서동물 군집은 물의 노출 정도에 따라 조간대 상부와 조간대 하부로 구분되어 진다고 했다. 모래조간대에 우점하는 서해비단고둥류는 해안선에 일정한 거리를 두고 서식하며, 조차에 의한 물리적인 요인이 분포에 영향을 주는 것으로 알려졌다 (Tamaki and Kikuchi, 1983). 그러므로 이 연구지역의 조간대 하부는 조간대 상부와 중부에 비해 해수의 노출정도가, 서해비단고둥류의 생물량 감소와 이에 따른 저서성 단각류의 증가에 따라 군집 분포에 영향을 주는 것으로 여겨진다.

이원방조제 부근의 조간대 지역은 인공갯벌 조성 예정지역으로 선정되어, 2001년 후반기부터 조간대 중부지역에 인공수초가 설치에 따른 갯벌 조성에 대한 연구가 진행되고 있다. 일반적으로 서해안 조간대의 저서동물 분포는 조간대의 퇴적상의 변화에 의해 밀접한 영향을 받고 있어 (Shin et al., 1989; Hong, 1992), 이 연구지역에 인위적인 환경의 교란에 의한 퇴적상의 변화는 자연상태의 저서동물 군집의 분포 및 종조성에 많은 영향을 줄 것으로 여겨진다. 특히, 이 연구지역의

조간대에 우점하는 서해비단고둥류의 밀도는 이 지역에 인공 수초의 설치에 의한 퇴적상의 변화에 따라 많은 영향을 받으며, 서해비단고둥류의 밀도의 변화는 다른 저서동물 군집구조에 변화를 줄 것으로 여겨진다. 그러므로 이 연구지역에서의 저서동물의 높은 종수와 서식밀도는 인위적인 환경의 교란에 따라 영향을 받기 때문에, 인공갯벌의 조성이 전체적인 저서동물 군집에 어떤 영향을 주는가에 대한 것을 예측하기위한 장기적인 생태계 모니터링이 필요할 것으로 여겨진다.

## 사 사

이 논문을 세심하게 검토해주신 세분의 심사위원께 깊은 감사사를 드립니다. 이 연구는 한국해양연구원의 기본 연구사업인 “황해 연안역의 인공갯벌 조성기술 연구 (PE87400)”와 “연안역 통합관리를 위한 해양환경 변화 특성 규명-천수만 (PE87100)”의 일환으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- An, S. and C.H. Koh. 1992. Environments and distribution of benthic animals on the Mangyung-Dongjin tidal flat, west coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 27, 78-90. (in Korean)
- Beukema, J.J. 1989. Long-term changes in macrobenthic abundance on the tidal flats of the western part of the Dutch Wadden Sea. *Helgolander Meeresunters.*, 43, 405-415.
- Brown, A.C. and A. McLachlan. 1990. *Ecology of Sandy Shores*, Elsevier, Amsterdam, pp. 328.
- Choi, J.W. and C.H. Koh. 1984. A study on the polychaete community in Kwangyang Bay, southern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19, 153-162. (in Korean)
- Choi, J.W. and C.H. Koh. 1994. Macrobenthos community in Keum-Mankyung-Dongjin estuaries and its adjacent coastal region, Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 29, 304-318. (in Korean)
- Choi, J.W., D.S. Kim, S.H. Shin and J.G. Je. 1998. Spatial distribution of macrobenthos in the sandflat of Taebudo, Kyonggi Bay, the west coast of Korea. *Ocean Res.*, 20, 97-104. (in Korean)
- Clarke, K.R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Aust. J. Ecol.*, 18, 117-143.
- Clarke, K.R. and M. Ainsworth. 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 92, 205-219.
- Clarke, K.R. and R.M. Warwick. 1994. Changes in marine communities: an approach to statistical analyses and interpretation. *Nat. Environ. Res. Council, U.K.*, pp. 144.
- Folk, R.L. and W.C. Ward. 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain-size parameters. *J. Sed. Pet.*, 267, 3-27.
- Frey, R.W., J.S. Hong, J.D. Howard, B.K. Park and S.J. Han. 1987. Zonation of benthos on macrotidal flat Incheon, Korea. *Senckenbergiana Marit.*, 19, 295-329.
- Gordon, M.S. 1960. The effect of the deposit feeding polychaete *Pectinaria gouldii* on the intertidal sediments Barnstable Harbor. *Limnol. Oceanogr.*, 11, 327-332.
- Holland, A.F. and T.T. Polgar. 1976. Seasonal changes in the structure of an intertidal community. *Mar. Biol.*, 37, 341-348.
- Hong, J.S. 1992. An environmental assessment of the coastal area using the benthic macrofauna in Kyonggi Bay, west sea, Korea: A preliminary result. *Bull. Natl. Fish. Res. Dev. Agency*, 46, 239-253. (in Korean)
- Hong, J.S. and I.S. Seo. 2001. The community ecology of benthic macrofauna on the Cheokjeon tidal flat, Incheon, Korea 1. Community structure. *The Sea (J. Kor. Soc. Oceanogr.)*, 6, 190-200. (in Korean)
- Hong, J.S. and S.P. Yoon. 2000. Zonation of the exposed sandy beach macrofauna in Okjukpo, Taechongdo, Korea. *The Sea (J. Kor. Soc. Oceanogr.)*, 5, 146-156. (in Korean)
- Je, J.G., J.H. Lee and C.H. Koh. 1998. Tidal flat studies: present and future. *Ocean Res.*, 20, 57-61. (in Korean)
- Koh, C.H. 1997. Korean megatidal environments and tidal power projects: Korean tidal flats - biology, ecology and land uses by reclamations and other feasibilities. *La Houille Blanche.*, 3, 66-78.
- Koh, C.H. and H.C. Shin. 1988. Environmental characteristics and distribution of macrobenthos in a mudflat of the west coast of Korea (Yellow Sea). *Neth. J. Sea Res.*, 22, 279-290.
- Koo, B.J. and J.G. Je. 2002. A preliminary study on changes in macrobenthic assemblages in the fenced experimental plots for restoring tidal marsh, Hogok-ri tidal flat, west coast of Korea. *Ocean Polar Res.*, 24, 63-71.
- KORDI (Korea Ocean Research and Development Institute). 2002. Restoration of the eastern marginal environment of the Yellow Sea: Creation and restoration of environmentally sustainable tidalflat (REYES: CREST) (1st Phase 2nd year report), pp. 505. (in Korean)
- Lee, J.H. 1976. A study on the benthic fauna along the Busan coast, Korea. *Publ. Inst. Natl. Fis. Univ., Pusan*, 9, 49-70. (in Korean)

- Lee, J.H., J.S. Hong and S.K. Yi. 1983. Studies on the benthic fauna in Garolim Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 18, 111-116.
- Lee, S.W., H.G. Lee and S.H. Shin. 1998. Marine biota of the macro-tidal flat of Namsari, Taebudo in the west coast of Korea. *Ocean Res.*, 20, 105-119. (in Korean)
- Lim, H.S. and J.G. Je. 1998. Macrobenthic communities of the macro-tidal flats of Taebudo and Tando in the west coast of Korea. *Ocean Res.*, 20, 121-130. (in Korean)
- Lim, H.S. and J.S. Hong. 2002. Spatial distribution of macrozoobenthos along the salinity gradient and sedimentary environment in the Watancheon estuary, Beobseongpo, southwest coast of Korea. *The Sea (J. Kor. Soc. Oceanogr.)*, 7, 8-19. (in Korean)
- Lim, H.S. and J.W. Choi. 1998. Macrobenthic community at the subtidal area around Taebudo in Kyeonggi Bay, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 31, 453-462. (in Korean)
- Lim, H.S., J.H. Lee, J.W. Choi and J.G. Je. 1995. Macrobenthic community on the soft-bottom around the Youngjong Island, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 28, 635-648. (in Korean)
- Mayes, E. and D.I.D. Howie. 1985. Biochemical composition and sediment temperature in relation to the reproductive cycle in the lugworm *Arenicola marina*. *Neth. J. Sea Res.*, 19, 111-118.
- MOMAF (Ministry of Marine Affairs and Fisheries). 1998. Tidal flat of Korea, pp. 28. (in Korean)
- Myer, A.C. 1977. Sediment processing in a marine subtidal sandy bottom community. 1. Physical aspects. *J. Mar. Res.*, 35, 609-632.
- Park, H.S., J.H. Lee, C.S. Kim and B.M. Choi. 1998. Relationship between the spatial distribution of macrobenthic fauna and density of *Umbonium thomasi* on a tidal sandflat, Taebudo, Korea. *Ocean Res.*, 20, 89-96. (in Korean)
- Sanders, H.L., E.L. Goudsmit and G.E. Hampson. 1962. A study of the intertidal fauna of Barnstable Harbor, Massachusetts. *Limnol. Oceanogr.*, 17, 63-79.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. *The Mathematical Theory of Communication*, Univ. Illinois Press, Urbana, pp. 177.
- Shin, H.C. and C.H. Koh. 1990. Temporal and spatial variation of polychaete community in Kwangyang Bay, southern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 25, 205-216. (in Korean)
- Shin, H.C., J.W. Choi and C.H. Koh. 1989. Faunal assemblages of benthic macrofauna in the inter- and subtidal region of the inner Kyeonggi Bay, west coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 24, 194-193. (in Korean)
- Tamaki, A. and T. Kikuchi. 1983. Spatial arrangement of macrobenthic assemblages on an intertidal sand flat, Tomioka Bay, west Kyushu. *Publ. Amakusa Mar. Biol. Lab.*, 7, 41-60.
- 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. (in Korean)

---

2004년 6월 7일 접수  
2004년 7월 26일 수리