

인천연안 대형저서동물 군집 변동에 미치는 환경요인의 영향

유옥환* · 고병설¹ · 이형곤 · 이재학
한국해양연구원 생물자원연구본부, ¹국립수산과학원 갯벌연구센터

Effect of Environmental Variables on Changes in Macrobenthic Communities in the Coastal Area of Incheon, Korea

Ok Hwan YU*, Byoung-Seol KOH¹, Hyung-Gon LEE and Jae-Hac LEE
Marine Living Resources Research Division, Korea Ocean Research & Development Institute,
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea
¹Tidal-flat Research Center, National Fisheries Research & Development Institute,
Gunsan 573-030, Korea

In coastal area of Incheon, dredging and the disposal of dredged material for sea-wall construction and reclamation have increased in recent years. These activities may impact the benthic environment and result in changes in benthic communities, but little information is available on the extent and direction of these changes. We investigated whether there have been changes in the dominant macrobenthic species and benthic community over the last decade, and explored the relationship between environmental variables and spatial patterns of macrobenthic community structure. We sampled macrobenthos and recorded environmental variables in the coastal habitats of Incheon in March and June 2004. In total, 212 macrobenthic species were recorded during this study, predominately crustaceans (34%), mollusks (32%) and polychaetes (21%). The mean density of macrobenthos was 1,393 ind./m². The most abundant species was *Amphioplus japonicus* (20.5%), followed by *Heteromastus filiformis* (14.4%), *Theora fragilis* (8.2%) and *Ampharete* sp. (4.0%). Over the past decade the dominant macrobenthic species in this area shifted. Multivariate analysis (multidimensional scaling) revealed significant differences in community structure among three regions: the middle part of the sampling area (B), site 8 (C) and other sites (A). Mean density varied significantly among the three regions, but no differences in the number of species and diversity (H') were observed. The distribution of the macrobenthic community was affected by environmental variables such as percentage sand content and sediment kurtosis. Species that were important in different areas included *A. japonicus* in region A, *Raeta puchella* in region B and *T. fragilis* in region C. The important species in regions B and C were filter-feeding bivalves, and the abundance of these species may be related to the increase in percentage sand content. We suggest that the sediment composition (percentage sand content) may be an important factor in determining the dominant species and structure of the macrobenthic communities in coastal Incheon. Long-term monitoring programs are necessary to understand ongoing changes in the benthic communities of this area.

Key words: Macrobenthic community change, Environmental variables, Coastal area of Incheon

서론

해양생물 가운데 저서동물은 대부분이 고착성이거나 제한된 이동성 때문에 저서환경의 변화 뿐 아니라 수계 환경의 변화에도 능동적으로 대처할 능력이 부족하다. 따라서 저서환경의 변화는 저서동물 개체군과 군집 구조에 영향을 미치기 때문에 저서동물의 종조성과 생물상의 변화는 저서 환경의 변화를 유추하고 평가하는데 유용하다 (Gray, 1974, 1981; Hartley, 1982). 또한 저서동물은 수계 환경의 플랑크톤이나 어류 등의 생물군집보다 이동성이 적으므로 해양환경의 시공간적인 변화가 큰 해역에서 장기적인 해양환경 모니터링 연구

에 유용하다 (Roberts et al., 1998; Diaz et al., 2003).

황해의 경기만에 위치하고 있는 인천 연안역은 조석의 차이가 크게 나타나고, 수피의 이동이 활발한 수로가 형성되어 있고, 인근의 임진강, 한강 등 하구역에 인접해 있어 계절적인 해양환경 변화가 크게 나타나고 있다 (Koh et al., 1997; Shin and Koh, 1998). 또한 1980년대 후반부터 시작된 대형 개발 사업인 시화호 방조제 건설, 영종도 신공항 건설, 송도 신도시 건설을 위한 주변 해역에서의 준설 및 매립은 해양환경의 변화를 인위적으로 가속화 시키고 있다 (KOACA, 1994).

이와 같은 인위적인 환경의 변화가 크게 나타나기 시작하는 1980년대 후반부터, 인천 연안역에서의 저서동물에 대한 연구가 활발히 수행되었다. 인천 연안역의 저서동물 군집을 조절

*Corresponding author: ohyu@kordi.re.kr

하는 요인으로 퇴적상 (Shin et al., 1989; Lim et al., 1995; Koh et al., 1997), 유기물의 유입 (Shin et al., 1989), 조간대의 노출 기간 (Lim et al., 1995) 그리고 중금속 농도 및 용존산소의 차이 (Koh et al., 1997) 등이 있다고 추측하였지만, 이런 요인들이 군집구조에 영향을 주는 지에 대한 평가는 미비하다. 단지, 경기만의 대형저서동물 군집이 퇴적물의 입도변화에 따라 크게 영향을 받는 것으로 평가한 연구가 있을 뿐이다 (Hong and Yoo, 1996).

저서동물 군집은 매립 및 준설 등의 해양환경 변화의 일시적인 교란 후, 시간이 경과함에 따라, 우점종의 천이가 나타나는 것으로 알려져 왔으며 (Hily, 1983), 생태계의 안정화는 군집구조의 구성에 따라 차이가 나타나고 있다 (Groot, 1979; Bonsdorff, 1980; Dauvin, 1987). Lim et al. (1995)은 인천 연안역의 저서동물 군집은 매립과 준설에 따른 퇴적상의 변화로 인해 우점종의 천이가 나타나고, 저서동물 군집을 변화 시킬 것이라고 추측하였다. 그러나 인천 연안역에서의 장기간 저서환경변화에 따른 저서생태계의 변화에 대한 연구는 실시되지 않았다.

이 연구의 목적은 1980년대 후반부터 인천 연안역에서의 광범위한 개발로 인한 환경의 변화가 저서생태 환경에 어떤 영향을 주었는지를 밝히는 것이다. 첫 번째 환경변화가 급변하고 있는 인천 연안역에서 저서동물 군집 구조와 우점종의 변화가 나타나고 있는지를 알아내고, 두 번째 군집구조 및 우점종의 변화가 나타나고 있다면, 이에 영향을 주는 주요 환경요인을 알아내는 것이다. 이와 같은 두 가지의 연구 목적을 평가하기 위해, 최근에 실시된 저서동물 군집 구조 연구와 기존에 연구되어진 연구 결과들을 비교 검토하였다.

재료 및 방법

대형저서동물의 시료채집은 2004년 3월과 6월에 인천항 주변 조하대 10개 정점에서 van Veen grab (31×33 cm)을 사용하여 정점당 3회씩 반복 채집했다 (Fig. 1). 저서동물을 포함한 퇴적물은 채집 현장에서 직경 1 mm 망목의 체에 거른 다음

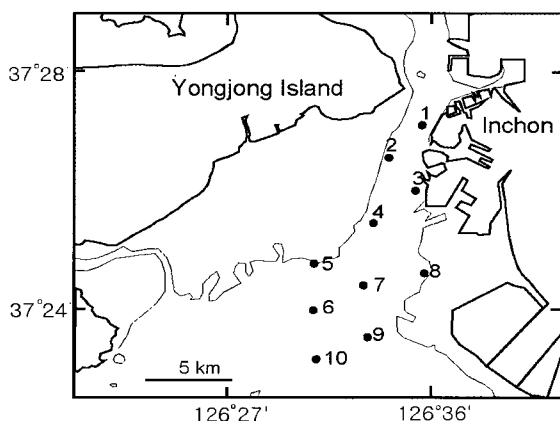


Fig. 1. Map of the study area of the coastal area of Incheon, with the location of the sampling sites.

잔존물 모두를 해수로 희석한 10%의 중성포르말린 용액을 사용하여 고정했다. 고정된 시료는 실험실로 운반하여 우선 잔존물로부터 생물체를 분리하여 분류군에 따라 선별한 다음 분류군별 습중량을 측정했으며, 최종적으로 해부현미경 하에서 종 수준까지 동정·계수했다.

환경요인 분석을 위해 2004년 3월에 퇴적물을 채집하였으며, 실험실에서 유기탄소, 총인, 총질소, 총황의 농도, 강열감량 (IL), 화학적산소요구량 (COD), 미량금속 원소 (Al, Fe, Mn, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg)를 측정하였다. 또한, 퇴적물의 입도는 Folk and Ward (1957)방법에 따라, 평균입도 (Mz), 분급도 (SD), 왜도 (Skewness) 및 첨도 (Kurtosis)를 측정하였다.

자료분석

이 연구에서 환경요인간의 상관관계를 분석하기 위해 Spearman rank correlation test를 실시했다. 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. 정점별 종조성과 그에 따른 지역별 유사도 측정을 위해 Bray-Curtis의 유사도지수를 구하여 가중 평균결합법으로 정점간의 수지도 (dendrogram)로 작성하였으며, 소수 출현 종에 의한 유사도지수의 과대평가를 낮추기 위해, 정점별 총 출현 개체수의 상위 3% 이상 자료를 이용하였다. 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 군집구조에 영향을 끼치는 환경요인을 파악하기 위해 2회 조사된 생물자료의 평균 밀도의 정점별 유사도 자료와 정점별 여러 환경요인의 값을 이용하여 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).

최근의 인천연안 저서동물군집의 변동양상을 파악하기 위해, 1980년대 후반부터 이 연구지역과 유사한 지역에서 연구된 논문을 비교 검토하였다 (Shin et al., 1989; Lim et al., 1995; Koh et al., 1997; Shin and Koh, 1998). 이 연구와 기존 연구 결과의 비교 자료는 종수, 평균 서식 밀도, 우점종 (총 출현량의 5% 이상), 총 분류군에서 다모류가 차지하는 비율 등이었으며, 이 연구와 기존 연구의 저서동물 군집의 계절적인 차이를 보정하기 위해, 이 연구의 조사 시기 (3월과 6월)와 유사한

Table 1. Values of the environmental variables at the sampling sites in the coastal of Incheon, 2004

Site	Sand (%)	silt/clay (%)	Mean Grain (Ø)	Skewness	Kurtosis	IL (%)	COD (%)	TC (%)	TOC (%)	Al (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Hg (ppm)
1	44.94	47.97	4.61	0.38	2.04	2.92	2.55	0.63	0.29	5.21	1.47	811.08	6.63	0.05	5.84	21.98	7.29	10.21	27.84	47.13	0.04
2	28.92	69.74	5.96	0.26	2.31	2.86	4.80	0.47	0.29	6.18	2.40	499.83	6.05	0.06	8.04	48.66	12.34	17.02	18.17	61.92	0.02
3	39.49	60.51	5.77	0.07	2.10	3.93	7.76	0.63	0.49	6.64	2.73	475.22	7.71	0.06	9.00	52.82	16.11	19.57	20.23	73.05	0.05
4	46.57	53.43	5.04	1.26	3.61	1.75	2.64	0.19	0.14	5.83	2.39	455.77	5.57	0.04	6.82	44.36	9.28	12.65	20.64	51.55	0.01
5	97.88	2.12	1.83	1.78	10.41	1.42	0.73	0.19	0.06	4.31	0.80	871.84	3.90	0.03	3.34	12.57	2.27	4.62	21.03	16.20	0.00
6	66.39	33.62	3.97	1.52	4.44	2.79	5.33	0.44	0.33	6.10	2.62	444.24	6.45	0.05	8.35	49.67	11.68	17.06	19.78	62.52	0.02
7	15.27	84.73	6.77	0.52	2.06	4.06	7.64	0.61	0.49	6.82	3.03	570.64	8.50	0.09	10.07	58.67	17.44	21.54	21.75	79.18	0.03
8	66.52	33.48	4.32	1.57	4.27	1.79	2.88	0.16	0.10	6.27	1.89	275.05	4.68	0.03	6.04	31.88	6.14	11.46	17.66	38.50	0.00
9	80.87	17.58	2.80	1.89	6.69	2.70	2.80	0.32	0.22	5.97	2.49	516.59	5.82	0.05	7.55	44.12	9.63	14.45	21.73	56.37	0.01
10	59.65	3.05	0.25	-0.08	1.70	4.09	8.96	0.67	0.49	6.82	2.95	572.83	8.38	0.06	9.68	53.03	14.59	20.17	23.39	73.74	0.02

IL, loss of ignition; COD, Chemical oxygen demand; TC, Total carbon; TOC, Total organic carbon

시기의 자료를 추가로 검토하였다. 또한 생물자료에 영향을 주는 환경요인으로 퇴적물의 입도 변화를 검토하였으며, 비슷한 계절의 자료를 분석하기 위해, Lim et al. (1995)과 Koh et al. (1997)의 자료를 이용하였다.

결 과

환경요인

인천 연안역의 조하대 정점에서의 표층퇴적물의 입도는 0.25 Ø에서 6.77 Ø로 정점 간 차이가 크게 나타났으며, 5번 정점과 10번 정점에서는 실트 및 점토의 함량이 5% 이하로 매우 낮았다 (Table 1). 반면에, 1번과 2번과 9번 정점에는 자갈이 소량 포함되었으며, 10번 정점에서는 자갈의 함량이 37% 이상으로 높았다. 총유기탄소의 양은 평균 $0.29 \pm 0.16\%$ 를 보였으며, 5번 정점에서 0.06%로 다른 정점에 비해 가장 낮았다. 모래의 함량과 유기탄소의 양간에 유의한 상관관계가 나타나지 않았지만 ($r = -0.59$, $P > 0.05$), 강열감량 ($r = -0.66$, $P < 0.05$)과 총탄소의 양 ($r = -0.61$, $P < 0.05$)과는 음의 유의한 상관관계를 보였다. 미량원소의 양은 총유기탄소의 양이 증가할수록 커졌으며, 모래의 함량과는 반대의 경향을 보였다 (Table 1).

저서동물

인천연안역 10개 정점에서 조사된 대형저서동물은 총 212종이 나타났으며, 평균 서식 밀도는 1,392 개체/m²였다. 환형동물의 평균밀도는 611 ± 218 개체/m²로 전체 출현 밀도의 43.9%를 차지했으며, 45종이 나타났다. 연체동물의 평균 밀도는 346 ± 173 개체/m²로, 67종이 나타났다. 반면에, 절지동물에 속하는 갑각류의 평균 밀도는 99 ± 41 개체/m²로, 전체 출현 밀도의 7%로 매우 낮았으나, 종수는 71종으로 전체 출현종의 33.5%로 가장 높았다. 극피동물의 평균밀도는 297 ± 268 개체/m²였으며, 종수는 11종으로 낮았다. 환형동물은 모든 정점에서 우점종으로 나타났으나, 연체동물과 극피동물들은 특정

지역에서만 높게 나타났다 (Fig. 2).

인천 연안 조하대에서 총 출현 밀도의 1% 이상을 이루는 종들은 18종으로 (Table 2), 이 가운데 극피동물의 순양거미불가사리 (*Amphipus japonicus*)가 평균 286 개체/m²로 가장 높았으며, 총 출현 밀도의 20.5%를 차지했다. 다음으로 다모류의 버들갯지렁이 (*Heteromastus filiformis*)와 이매패류의 아기반투명조개 (*Theora fragilis*)가 각각 201 개체/m²와 114 개체/m²로 높게 나타났다. 이 종들은 전체 출현 밀도의 42% 이상을 차지했다.

Table 2. Mean density (ind./m²) of the dominant species in the coastal area of Incheon, 2001

Species	Taxonomic Group	Density	
		ind./m ²	%
<i>Amphipus japonicus</i>	e	286	20.5
<i>Heteromastus filiformis</i>	p	201	14.4
<i>Theora fragilis</i>	b	114	8.2
<i>Ampharete</i> sp.	p	56	4.0
<i>Cadella semitorta</i>	b	40	2.9
<i>Sternaspis scutata</i>	p	40	2.8
<i>Raeta pulchella</i>	b	38	2.7
<i>Glycinde</i> sp.	p	34	2.4
<i>Nephtys polybranchia</i>	p	33	2.3
<i>Glycra chirori</i>	p	30	2.2
<i>Aricidea</i> sp.	p	28	2.0
<i>Prionospio</i> sp.	p	17	1.2
<i>Musculus cumingianus</i>	b	17	1.2
<i>Nemertina</i> sp.	n	17	1.2
<i>Bornioopsis tsurumaru</i>	b	16	1.2
<i>Tharyx</i> sp.	p	16	1.2
<i>Praxillella affinis</i>	p	15	1.1
<i>Cycladicama lunaria</i>	b	14	1.0

p, Polychaeta; b, Bivalvia; e, Echinodermata; n, Nemertina

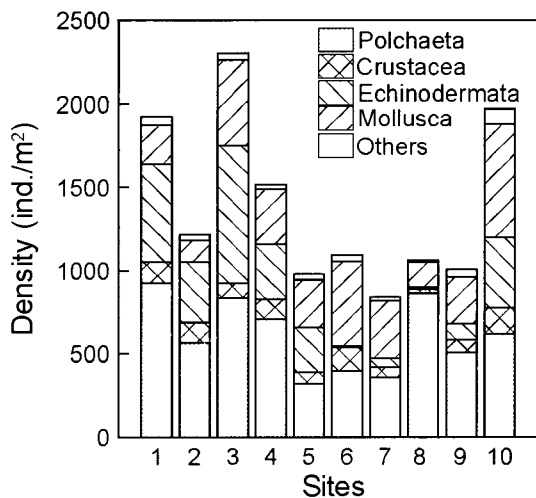


Fig. 2. Density of the dominant macrobenthic taxa at sampling sites.

가장 우점한 *A. japonicus*는 1번, 2번, 3번 정점에서 높게 출현하였다. 그러나 6번, 7번, 8번 정점에서는 거의 나타나지 않았다 (Fig. 3). 반면에 *H. filiformis*는 모든 정점에서 고른 출현분포 양상을 보였으며, *A. japonicus*가 나타나지 않는 8번 정점에서 515 개체/m²로 가장 높게 출현하였다. 이매패류인 *T. fragilis*는 10번 정점에서 평균 555 개체/m²로 밀도가 높았으며, 6번과 4번과 10번 정점을 제외한 나머지 정점에서는 거의 출현하지 않았다.

인천 연안 조하대에서의 종 다양성 지수는 2.5-3.3 사이였으며, 평균 2.98의 값을 보였다. 종 다양성 지수는 8번 정점에서 2.5로 다른 곳에 비해 상대적으로 낮았다.

군집분석 및 환경요인과의 영향

인천 연안 조하대에서 대형저서동물 군집구조는 크게, 세 지역으로 구분 되었다 (Fig. 4). 1-4번 정점 그리고 8번 정점과 10번 정점인 A 지역과, 5번과 7번 그리고 9번 정점인 B 지역 그리고 6번 정점인 C 지역으로, 세 지역에 나타나는 종들의 조성은 ANOSIM 테스트 결과 유의한 차이를 보였다 (Global

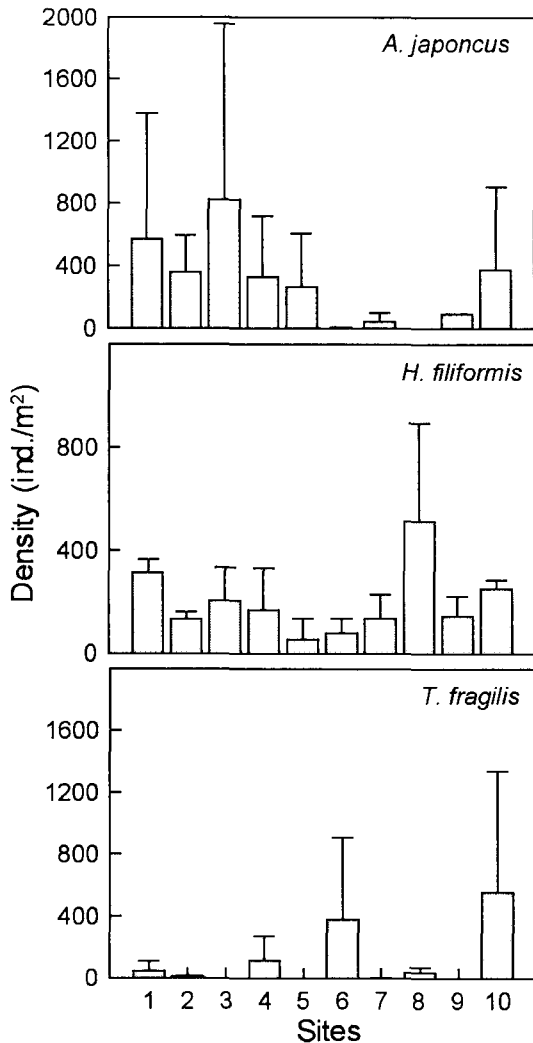


Fig. 3. Density of the *Amphiplus japonicus*, *Heteromastus filiformis* and *Theora fragilis* at the sampling sites.

$R=0.658$, $P=0.001$). 출현 밀도는 A 지역에서 가장 높았으며, 나머지 지역에서는 1,000 개체/m² 이하로 낮았으며, 세 지역간 유의한 차이를 보였다 (one-way ANOVA test, $F=6.319$, $df=2$, $P=0.04$). 그러나 세 지역에서의 종수 및 종 다양성 지수는 유의한 차이를 보이지 않았다 (Fig. 5).

군집분석에 의해 나누어진 세 지역의 구분에 영향을 끼친 저서동물을 보면 (Table 3), A 지역에는 다모류인 *H. filiformis*, *Glycinde* sp., *Sternaspis scutata*와 극피동물인 *A. japonicus*의 영향이 크게 나타났다. 이 세 종들은 A 지역에서 높은 출현 밀도를 보였다 (Fig. 6). B 지역에서는 A 지역 구분에 영향이 큰 *H. filiformis*와 *A. japonicus* 이외에 이매패류인 *Raeta pulchella*의 영향이 크게 나타났다. *Raeta pulchella*는 B 지역에서 높은 출현 밀도를 나타냈다 (Fig. 6). A 지역과 B 지역의 구분은 A 지역과 B 지역에서 각각 *A. japonicus*와 *R. pulchella*의 비유사도의 기여도가 높은 종에 의해 구분되어졌으며, A 지역과 C 지역은 각각 *A. japonicus*와 이매패류인 *T. fragilis*와,

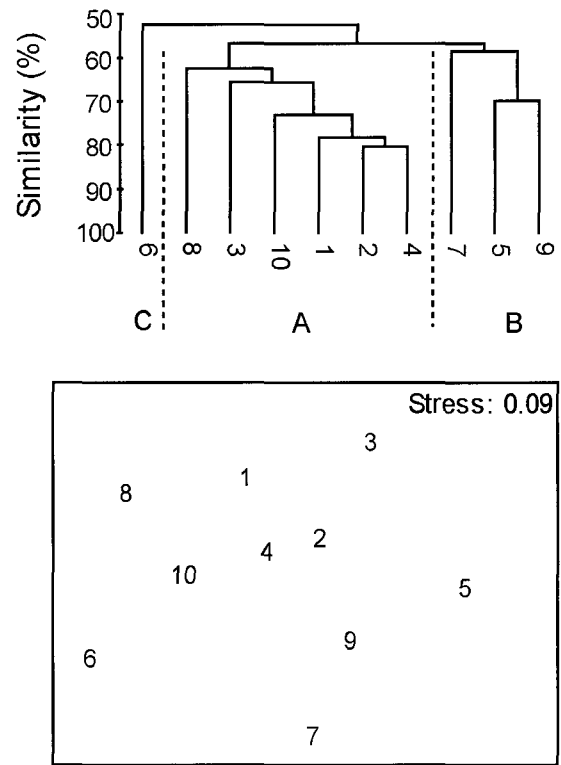


Fig. 4. Dendrogram of Bray-Curtis similarity and multidimensional scaling ordinations (MDS) plot of the sampling sites based on the density of macrobenthic species.

B 지역과 C 지역은 각각 *R. pulchella*와 *T. fragilis*의 비유사도의 기여도가 높은 종에 의해 구분되어졌다.

대형저서동물 군집과 군집구조에 영향을 끼치는 여러 환경요인을 BVSTEP 평가에 의한 결과, 대형저서동물 군집은 퇴적물의 모래함량과 첨도 (Kurtosis)에 의해 가장 큰 영향을 받았다 ($\sigma=0.42$) (Relate test; $Rho=0.42$, $P<0.05$). 반면에 세 지역에서 우점한 종들은 여러 환경요인들과 유의한 상관관계가 나타나지 않았다.

고 찰

인천 연안의 조하대에서 연구되어진 결과, 87-266종과 352-557 개체/m²의 평균밀도가 나타났다 (Table 4). 미 동정된 출현 종에 의한 과소평가와 (Shin et al., 1989), 저서동물 가운데 다모류만 분석한 연구 결과 (Shin and Koh, 1998)를 제외하면, 인천연안에서는 평균 222종이 나타난다고 보고 되었다 (Table 4). 이와 같은 결과는 이 연구에서의 212종과 비슷한 경향을 보이고 있다. 반면에, 이 연구에서 저서동물의 평균밀도는 이전의 결과보다 3배 이상 높게 나타났다 (Table 4). 이러한 이유는 첫 번째로 조사시기의 차이에 의한 평균밀도의 차이를 고려해 볼 수 있다. 이전의 연구들은 모두 계절적인 조사의 결과로 이 연구의 채집시기 (3월 6월)와 차이가 있다. 그러나 기존 연구의 계절적인 평균밀도를 고려했을 때 (Table 4), 이

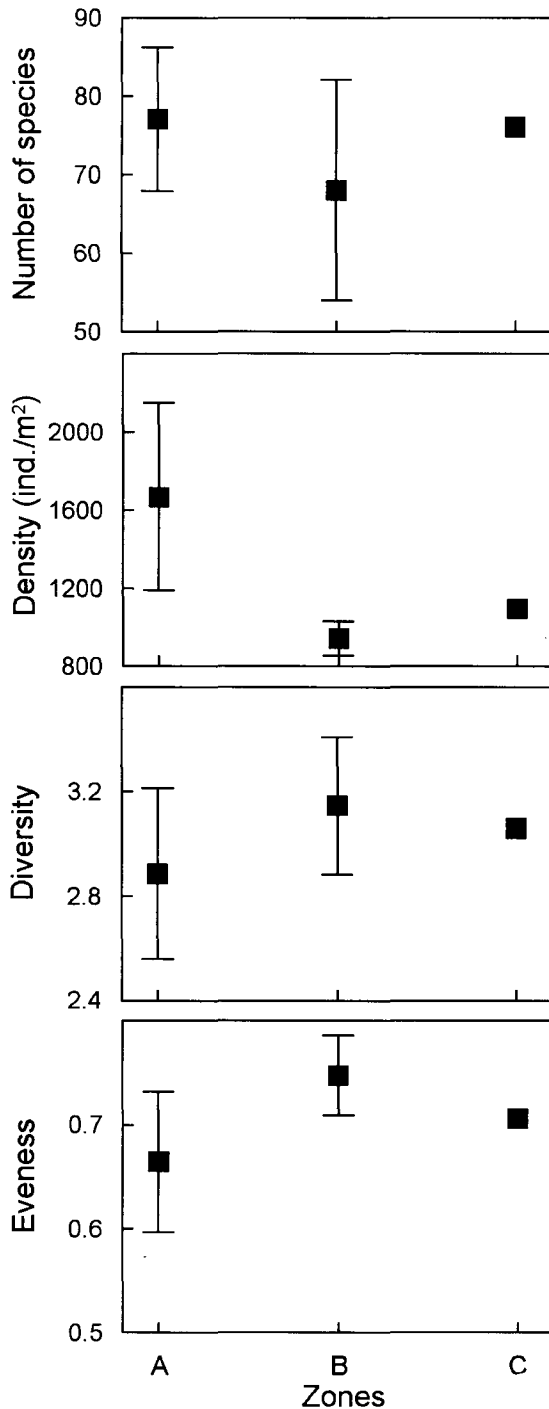


Fig. 5. Means and standard errors for numbers of species, density, diversity and evenness of total macrobenthos within the three zones.

연구 지역에서 높은 밀도를 보여, 단지 조사시기의 차이에 의한 결과로 생각할 수 없다. 그렇지만, 환경변화에 의한 출현 종의 변화가 나타나고, 우점하는 종의 서식환경이 적합한 경우에는 개체수의 증가가 나타난다. 이 연구지역에서 우점하는 저서동물의 종조성은, 기존의 결과와 뚜렷한 차이가 나타

Table 3. Summary of results from a SIMPER analysis, comparing the major aspects of the macrobenthic communities across the three zones in the coastal area of Incheon, 2004

Zone	Species	Contribution (%)	Accumulation (%)
A	<i>Heteromastus filiformis</i>	18.77 ¹	18.77
	<i>Amphioplus japonicus</i>	16.87 ¹	35.64
	<i>Glycinde</i> sp.	8.97 ¹	44.61
	<i>Sternaspis scutata</i>	8.50 ¹	53.11
B	<i>Heteromastus filiformis</i>	17.39 ¹	17.39
	<i>Raeta pulchella</i>	16.92 ¹	34.31
	<i>Amphioplus japonicus</i>	14.70 ¹	49.01
	<i>Glyceria chirori</i>	7.47 ¹	56.49
A vs. B	<i>Amphioplus japonicus</i>	13.46 ²	13.46
	<i>Theora fragilis</i>	9.92 ²	23.38
	<i>Raeta pulchella</i>	9.21 ²	32.59
	<i>Heteromastus filiformis</i>	7.06 ²	39.66
A vs. C	<i>Amphioplus japonicus</i>	20.99 ²	20.99
	<i>Theora fragilis</i>	16.26 ²	37.24
	<i>Heteromastus filiformis</i>	9.26 ²	46.50
	<i>Sternaspis scutata</i>	6.53 ²	53.03
B vs. C	<i>Theora fragilis</i>	22.19 ²	22.19
	<i>Raeta pulchella</i>	11.86 ²	34.05
	<i>Amphioplus japonicus</i>	10.04 ²	44.09
	<i>Musculus cumingianus</i>	5.86 ²	49.96

¹Similarity contribution; ²Dissimilarity contribution.

났다.

두 번째로, 퇴적상의 변화에 따른 밀도의 차이를 고려해볼 수 있다. 저서동물의 분포는 서식 기질인 퇴적물의 입도와 밀접한 관계를 가지고 있으며, 다양한 퇴적물의 입도 조성은 저서동물의 종수와 밀도를 증가 시킨다 (Lee et al., 1983; Choi and Koh, 1984). 인천 연안의 조하대의 퇴적상은 조석차에 의한 조류의 세기와 한강 하구로부터의 담수 유입등의 복잡한 물리적 해양 특성에 따라 정점별, 계절별로 뚜렷한 차이를 나타낸다 (Koh et al., 1997). 이 연구와 비슷한 조사시기와 정점에서 연구된 이전의 퇴적상은 평균 5.0 Ø로 (Koh et al., 1997), 이 연구에서 (4.13 Ø)보다 세립화되었다. 그러므로 최근 이 지역에서의 매립 및 준설 등의 해양환경 변화에 의한 퇴적상의 변화가 나타나, 퇴적상의 변화에 따른 종조성의 변화와 우점종의 천이에 의한 결과로 밀도의 차이가 나타나는 것으로 여겨지며, 이를 명확히 밝히기 위해 계절적인 환경 변화에 의한 저서동물 군집구조의 변화의 연구가 앞으로 진행 되어야 할 것으로 여겨진다. 또한, 이 연구에서 대형저서동물의 종 다양성 지수의 값 (평균 2.98)이 이전에 보고된 종 다양성 지수 1.94 (Koh et al., 1997)에서 2.3 (Lim et al., 1995) 보다 높은 이유도 환경변화에 대한 결과와 관련이 있다고 여겨진다.

지금까지 인천 연안에서의 대형저서동물 군집에 대한 연구 결과, 우점한 종들은 대부분 다모류에 속하는 종들로 나타났

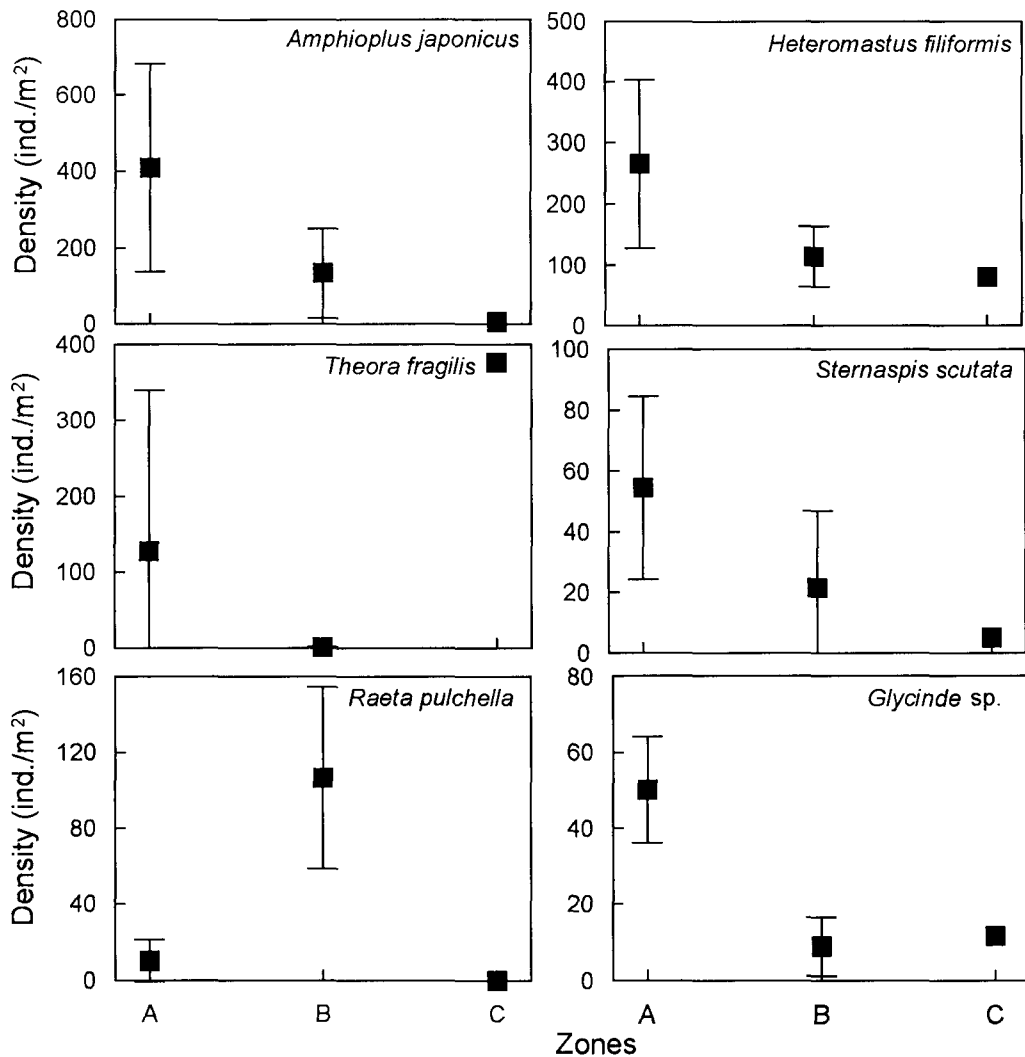


Fig. 6. Density of the macrobenthic species that contributed most to the breakdown of average similarities (SIMPER) within the respective sites.

다 (Table 4). 1980년대 후반과 1990년대 초반에 우점하는 종들은 다모류인 *Tharyx* sp., *Mediomastus* sp., *Heteromastus* sp., 이매패류 *Nipponomysella oblongata* 등이었지만 (Shin et al., 1989; Lim et al., 1995), 1990년도 중반에는 우점종이 다모류 *H. filiformis*, 이매패류 *R. pulchella*로 바뀌었다. 이 연구에서 우점종은 극피동물인 *A. japonicus*, 다모류 *H. filiformis*, 이매패류 *T. fragilis*로, 1990년도 중반이후 우점종의 종 조성이 바뀌었다. 특히, *A. japonicus*는 특정한 지역에서만 높게 출현하였고, 일부 지역에서는 전혀 출현하지 않았다. *Amphioplus* 속의 거미불가사리류는 퇴적물의 입자 크기에 따라 출현 종이 다르게 나타나지만 (Li et al., 1990; Capitoli and Monteiro, 2000), Shin and Koh (1993)은 거미불가사리류의 분포는 수심과 수온에 영향을 받으며, 퇴적물의 입도에는 영향을 크게 받지 않는다고 했다. 일본의 심해산 빗살불가사리류 (*Ophiura*)의 분포는 중간 경쟁의 결과로 영향을 받는다 (Fujita and Ohta, 1990).

이 연구에서의 *A. japonicus*의 분포는 퇴적물의 입도와는 뚜렷한 상관관계가 타나지 않아, 퇴적물 입도 이외의 다른 요인에 의한 영향을 받는 듯하다. 특히 저서동물의 우점종은 환경의 인위적인 교란에 의해 바뀌어 지고 있으며 (Choi et al., 1998), 시간이 경과함에 따라 생태계는 안정화 되어 회복 되어진다 (Hily, 1983). 그러므로 이 연구에서의 우점종의 변화는 1990년대 중반 이후부터의 인위적인 환경 교란에 의한 생태계의 천이로 여겨진다.

이 연구에서 다모류 *H. filiformis*는 모든 정점에서 고르게 출현하였으며, 1990년대 중반이후 계속해서 우점종으로 나타나고 있다. *H. filiformis*는 해양환경이 좋지 않는 유기물 오염 지역에서 주로 나타는 종으로 알려져 (Roper et al., 1989; Shin and Koh, 1998), 이 지역에 유기물 오염이 계속해서 진행되어 지고 있음을 알 수 있다. 특히, 비 산소 수괴에서 높게 나타나는 유기물 오염 지시종으로 알려진 이매패류 *T. fragilis* (Tami,

Table 4. A summary table for macrobenthic community studies conducted in the coastal area of Incheon

Date	Sampling interval	Sampling gear	Replicate times	Number of sites	Number of species	Mean density (ind./m ²)	Dominant species (>5 % of total density)	% of polychaeta	References
1987.10-1988.5	Seasonal	van Veen Grab (0.1 m ²)	2	29	87	550	<i>Tharyx</i> sp. (p) <i>Mediomastus</i> sp. (p) <i>Glycinde</i> sp. (p) <i>Sternaspis scutata</i> (p)	64.7	Shin et al. (1989)
1991.10-1992.7	Seasonal	van Veen Grab (0.1 m ²)	3	17	266	498	<i>Mediomastus</i> sp. (p) <i>Nipponomysella oblongata</i> (m) <i>Nephtys polybranchia</i> (p) <i>Nunispio japonica</i> (p) <i>Glycinde gurjapnovae</i> (p)	66.7	Lim et al. (1995)
1994.5-1995.2	Seasonal	van Veen Grab (0.1 m ²)	3	16	231	455	<i>Raeta pulchella</i> (b) <i>Heteromastus</i> sp. (p) <i>Sernaspis scutata</i> (p) <i>Chaetozone setosa</i> (p) <i>Mediomastus</i> sp. (p)	63.1	Koh et al. (1997)
1995.12	Dec.	van Veen Grab (0.1 m ²)	2	90	60 ¹	557	<i>Heteromastus filiformis</i> (p) <i>Nephtys polybranchia</i> (p) <i>Tharyx</i> sp. (p) <i>Sternaspis scutata</i> (p)	87.7	Shin and Koh (1998)
2004.3-2004.6	Mar. Jun.	van Veen Grab (0.1 m ²)	3	10	212	1,392	<i>Amphioplus japonicus</i> (e) <i>Heteromastus filiformis</i> (P) <i>Theora fragilis</i> (b)	43.9	The present study

¹Polychaeta only.

1996)가 이 연구에서 높게 나타나 이를 뒷받침 해주고 있다고 여겨진다. 다만, 오염의 정도가 증가할 때 다모류의 비율이 증가하여, 오염지표로 제안되어지는 다모류의 비율은 (Lee et al., 1997), 이 연구에서는 1990년대 중반 보다 낮게 나타났으나, 이는 기존 연구와 채집시기 (계절조사)에 의한 차이로 여겨지며, 이를 명확히 하기 위해서는 앞으로 장기적인 생태계 모니터링에 의한 분석이 필요할 것으로 여겨진다.

인천 연안 조하대에서 대형저서동물 군집구조는 인천항 부근과, 송도 조간대 근처, 그리고 가장 남쪽에 위치한 A 지역과, 조사해역의 중간 부분의 B 지역, 그리고 8번 정점인 C 지역으로 구분되어 졌다. 이러한 군집구조에 영향을 미치는 환경요인으로, 퇴적물의 모래 함량의 영향이 높게 나타났다. 모래 함량은 A 지역에서 B 지역으로 갈수록 높게 나타났다. A 지역과 B 지역을 구분하는데 가장 큰 영향을 끼친 *A. japonicus*는 A지역에만 높게 나타났으며, 반면에 B지역에서는 이매패류 *R. pulchella*가 높게 나타났다. 또한 C 지역에서는 이매패류 *T. fragilis*가 A와 B지역을 구분하는데 유의한 영향을 주었다. 일반적으로 이매패류는 여과섭식을 하는 동물군으로 퇴적상이 조립해 지는 해역에서 증가되어 진다 (Lim et al., 1995). 그러므로 이 연구에서 퇴적물이 조립해지는 B와 C 지역에 이매패류의 생물량이 증가 되어져 군집구조에 영향을 끼치는 것으로 여겨진다.

인천연안 조하대의 군집구조는 하나의 구조로 이루어져

있다고 보고 되었으며 (Shin et al., 1989; Lim et al., 1995; Koh et al., 1997), 이러한 군집구조는 퇴적물의 입도 변화에 영향을 받고 있다 (Hong and Yoo, 1996). 즉, 퇴적물의 입도변화가 나타나게 되면 군집구조의 변화가 나타날 수 있게 된다. 이 연구에서 정점간 퇴적물의 입도의 변화가 크게 나타났으며, 저서동물 군집구조에 모래함량과 퇴적물 입자의 침도에 의한 영향이 크게 나타났다. 그러므로 1990년대 인천 연안에서 시화호 방조제 건설, 영종도 신공항 건설, 제1연육교 건설 및 송도 신도시 건설을 위한 주변 해역에서의 준설 및 매립에 따른 퇴적상의 변화는 저서동물의 종조성과 우점종에 영향을 주어, 대형저서동물 군집구조의 변화를 일으킨 것으로 파악되었다.

사 사

이 논문을 세심하게 검토해주신 세분의 심사위원께 깊은 감사를 드립니다. 이 연구는 한국해양연구원의 기본 연구사업인 “연안역 통합관리를 위한 해양환경 변화 특성 규명-천수만 (PE87100)”의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

Bonsdorff, E. 1980. Macrozoobenthic recolonization of a dredged brackish water bay in SW Finland. *Ophelia*,

- Suppl., 1, 145-155.
- Capitoli, R.R. and A.M.G. Monteiro. 2000. Distribution and abundance of ophiurids in the inner continental shelf of southern Brazil. *Atlantica*, 22, 41-56.
- 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., 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.
- Diaz, R.J., G.R. Cutter, Jr. and D.M. Dauer. 2003. A comparison of two methods for estimating the status of benthic habitat quality in the Virginia Chesapeake Bay. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 285-286, 371-381.
- Dauvin, J.C. 1987. Evolution a long terme (1976-1986) des populations d'Amphipodes des sables fins de la Pierre Noire (Baie de Morlaix, Manche Occidentale) apres la catastrophe de l'Amoco Cadiz. *Mar. Environ. Res.*, 21, 247-273.
- 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.
- Fujita, T. and S. Ohta. 1990. Size structure of dense populations of the brittle star *Ophiura sarsii* (Ophiuroidea: Echinodermata) in the bathyal zone around Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 64, 113-122.
- Gray, J.S. 1974. Animal-sediment relationship. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 12, 223-261.
- Gray, J.S. 1981. The ecology of marine sediment. *Cambridg Univ. Press, London*, pp. 185.
- Groot, S.J. 1979. An assessment of the potential environmental impact of large scale sand dredging for the building of artificial islands in the North Sea. *Ocean Managem.*, 5, 211-232.
- Hartley, J.P. 1982. Methods for monitoring off-shore macrobenthos. *Mar. Pollut. Bull.*, 13, 150-154.
- Hily, C. 1983. Macrozoobenthic recolonization after dredging in a sandy mud area of the Bay of Brest enriched by organic matter. *Oceanol. Acta, Proc. 17th Europ. Mar. Biol. Symp.*, Brest, France, 1982, 113-120.
- Hong, J.S. and J.W. Yoo. 1996. Salinity and sediment types as sources of variability in the distribution of the benthic macrofauna in Han Estuary and Kyonggi Bay, Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 31, 217-231.
- 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. (in Korean)
- KOACA (Korea Airport Construction Authority). 1994. Reports on post management of environment and ecosystem study of metropolitan new international airport construction, KOACA, pp. 432. (in Korean)
- Koh, B.S., J.H. Lee and J.S. Hong. 1997. Distribution patterns of the benthic macrofaunal community in the coastal area of Incheon, Korea. *The Sea (J. Kor. Soc. Oceanogr.)*, 2, 31-41. (in Korean)
- Lee, J.H., B.S. Koh and H.S. Park. 1997. Marine environmental assessment based on the benthic macroinfaunal compositions in the coastal area of Incheon, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 30, 771-781. (in Korean)
- Lee, J.H., J.S. Hong and S.K. Yi. 1983. Studies on the benthic fauna in Garolim Bay, Korea. *J. Oceanol. Sco. Korea*, 18, 111-116.
- Li, F., L. Cai and X. Wang. 1990. Community ecology of ophiuroid animal on intertidal zone in Xiamen Harbour. *Acta Ecol. Sin.*, 10, 231-236. (in Chinese)
- 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)
- Roberts, R.D., M.R. Gregory and B.A. Foster. 1998. Developing an efficient macrofauna monitoring index from an impact study - A dredge spoil example. *Mar. Pollut. Bull.*, 36, 231-235.
- Roper, D.S., D.G. Smith and G.B. Read. 1989. Benthos associated with two New Zealand coastal outfalls. *New Zealand J. Mar. Freshwat. Res.*, 23, 295-309.
- 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. 1993. Distribution and abundance of ophiuroids on the continental shelf and slope of the East Sea (southwestern Sea of Japan), Korea. *Mar. Biol.*, 115, 393-399.

- Shin, H.C. and C.H. Koh. 1998. Benthic polychaetous community in northern Kyeonggi Bay in December 1995. *The Sea (J. Kor. Soc. Oceanogr.)*, 3, 261-270. (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.
- Tami, K. 1993. Tolerance of *Theora fragilis* (Bivaliva: Semelidae) to low concentrations of dissolved oxygen. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 59, 615-620. (in Japanese)
- Tami, K. 1996. Temporal tolerance of larval *Theora fragilis* (Bivaliva: Semelidae) to hypoxic conditions. *Fish. Sci.*, 62, 996-997.

2004년 8월 31일 접수
2004년 10월 23일 수리