

Article

남해특별관리해역인 마산만에서 동계 및 하계에 출현하는 대형저서동물군집의 공간분포 양상

최진우* · 서진영 · 이창훈 · 류태권 · 성찬경 · 한기명 · 현상민

한국해양연구원 남해연구소
(656-830) 경남 거제시 장목면 장목리 391번지

Spatial Distribution Patterns of Macrobenthic Communities during Winter and Summer in the Masan Bay Special Management Area, Southern Coast of Korea

Jin-Woo Choi*, Jin-Young Seo, Chang-Hoon Lee, Tae-Kwon Ryu,
Chan-Gyung Sung, Gi-Myung Han, and Sangmin Hyun

South Sea Institute, KORDI
Geoje 656-830, Korea

Abstract : The spatial distributions of macrobenthic communities in Masan Bay were investigated during summer and winter, 2004. A total of 104 species were sampled with mean density of 448 ind./m² and biomass of 77.1 g/m² in winter. In summer, a total of 107 species occurred with 485 ind./m² and a biomass of 94.5 g/m². The most dominant species in winter were *Paraprionospio pinnata* (24.2%) among polychaetous worms and *Theora fragilis* (14.1%) among molluscs, but they were replaced in summer by *Prionospio cirrifera* (20.4%) and *Lumbrineris longifolia* (14.5%). The difference in species composition and abundance of benthic communities between the two seasons was due to the hypoxia in the bottom layer of the inner bay during summer, which defaunated the macrofauna of the sediments. In the winter when DO concentration increased to normoxia, the pelagic larvae of benthic fauna settled in the soft sediments, but there was a spatial gradient in values of total biomass, density, and H' and benthic pollution index (BPI); higher values were found toward the mouth of the bay. The multivariate analyses like the cluster analysis and MDS ordination showed that Masan Bay could be divided into two or four stationnal groups in winter and summer whether the hypoxia occurred or not. Group I consisted of sites at the inner bay and central area and Group II, sites at the bay mouth. In summer the inner bay area could be further divided into the shallow impoverished area and the deeper abiotic one.

Key words : 대형저서동물(macrobenthos), 공간분포양상(spatial distributional pattern), 저서오염지수(Benthic Pollution Index), 저산소증(hypoxia), 마산만(Masan Bay)

1. 서 론

마산만은 주변의 공업단지를 비롯하여 마산과 진해 등의 대도시가 인접해 있어 이들로부터 유입되는 산업폐수

와 생활하수, 진해만 전역에 퍼져있는 굴 양식장 등으로 인해 과도한 유기물이 유입이 되고 있어 해마다 식물플랑크톤의 대량번식(blooming) 및 여름철 저산소증(hypoxia) 현상이 발생하는 곳으로 유명하다. 그러나 해마다 반복되고 있는 여름철 hypoxia 현상에 대한 연구는 턱없이 미비한 실정이다. Hypoxia(저산소증) 현상이란 저층의 용존산

*Corresponding author. E-mail : jwchoi@kordi.re.kr

소 농도가 $2 \text{ mll}(2.8 \text{ mg/l})$ 이하로 나타나는 것으로 이러한 현상은 저서생물군집의 천이 혹은 사멸을 발생시킨다 (Nestlerode and Diaz 1998). 최초로 마산만 지역에서 hypoxia 현상에 의한 대형저서동물의 영향에 대한 조사는 1982년에 이루어졌다(Hong and Lee 1983). 그 이후, 용존산소와 대형저서동물의 생물량과의 관계에 대한 연구가 진행되었고(Hong 1987), 유기물의 유입과 hypoxia 현상과의 관계를 규명하기 위한 대형저서동물 군집구조의 시간적 변화 등이 수행되었다(Lim and Hong 1997a, 1997b). 그러나 이러한 연구가 진행된 이후 1991년부터 1993년까지 마산만 내부지역은 대규모 준설작업이 실시되었고, 그 이후에는 체계적인 연구가 진행되지 않았다. 1999년 마산만과 진해만에 대한 연구가 실시되었으나, 대형저서동물 군집의 시간적 변화는 포함하지 않고 단지 여름철 공간적 분포만을 관찰하였다(SNU 1999).

그리하여 본 연구에서는 마산만 특별관리해역의 퇴적물 부영양화 현상과 여름철 hypoxia 현상으로 인한 겨울철과 여름철의 대형저서동물 군집의 시간적 변화양상을 살펴보고자 한다.

2. 재료 및 방법

저서 동물의 채집을 위해 마산만 특별관리해역에 21개

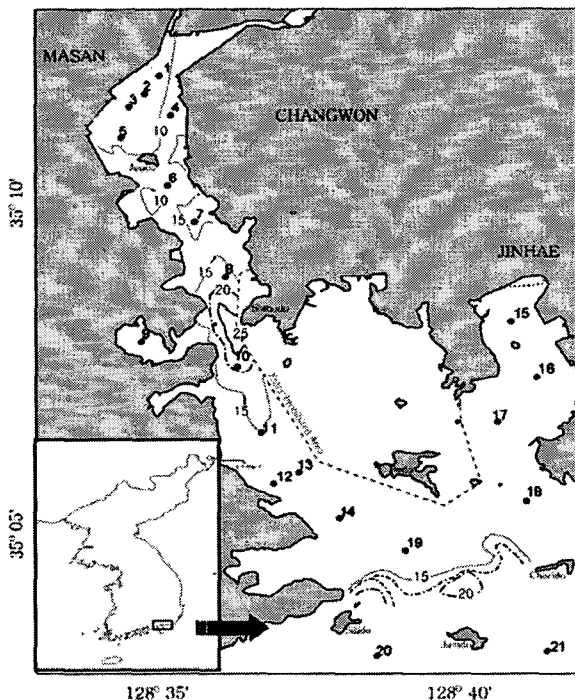


Fig. 1. A map showing the study area and sampling station.

정점을 설정하고 2004년 2월과 8월에 조사를 실시하였다 (Fig. 1). 대형저서동물의 채집은 van Veen 그랩(채집면적 0.1 m^2)을 사용하여 각 정점에서 4회씩 이루어졌고, 망목 크기 1 mm 인 체(sieve)에 걸러 남은 생물을 10% 중성포르말린으로 고정하였다. 실험실에서 주요 분류군으로 선별하여 습중량을 측정하였고, 종동정 후에 종별 출현개체수를 기록하였다. 개체수자료를 사용하여 정점별 종다양성지수(H') (Shannon and Weaver 1949), 종균등도지수(J) (Pielou 1966), 종풍부도지수(R) (Margalef 1958)를 구하였고, 출현종의 생태적인 특성을 고려하여 저서오염지수(BPI) (Choi et al. 2003)를 구하였다. 대형저서동물의 공간분포를 보기 위해서 정점별 출현개체수 자료를 사용하여 다변량 분석을 하였으며, 집괴분석과 MDS배열법으로 정점간 출현종의 유사정도를 나타내었다. 이러한 다변량 분석에는 소프트웨어로서 Primer v. 5.0을 사용하였다.

수은 및 용존산소(Dissolved oxygen; DO)의 농도는 CTD (Idronaut 316)를 사용하여 측정하였고, 퇴적물 온도는 선상에서 그랩 내의 퇴적물에 직접 디지털온도계를 삽입하여 측정하였다.

퇴적물의 입도분석을 하기 위해 퇴적물에 과산화수소(H_2O_2)와 염산(HCl)을 넣어 유기물과 탄산염을 제거한 후 습식체질(wet sieving)에 의해 4ϕ 이하와 그 이상으로 퇴적물을 분류하였다. 4ϕ 이하 조립질 퇴적물은 sieve shaker로 체질한 후 0.5ϕ 간격으로 무게 백분율을 구하였고, 4ϕ 이상 세립질 퇴적물은 약 2 g 정도를 취한 다음 자동입도분석기(Sedigraph 5100D)로 분석하였다. 퇴적물의 입도 특성을 나타내는 평균입도(Mz)는 컴퓨터를 이용하여 통계 처리했으며, 퇴적상의 분류는 Fork and Ward (1957)의 방법에 따랐다.

전유기탄소(Total Organic Carbon ; TOC) 함량은 표층에서 얻어진 퇴적물 시료를 각각 100°C 에서 24시간 이상 건조시킨 후 분말화한 시료를 잘 건조시켜 IN 염산으로 무기탄소(inorganic carbon)를 제거한 후 CHNS 분석기(EA1112)를 이용하여 직접 측정하였다.

3. 결 과

조사해역의 환경

조사해역의 퇴적물 표면에서 1 m 이내의 저층수온을 측정한 결과 21개 정점의 평균수온은 2월에는 6.8°C , 8월에는 25.5°C 였다. 2월의 정점별 저층 수온 분포를 살펴보면, 외곽에 위치한 정점들은 평균 7°C 이상의 수온분포를 나타낸 반면, 내만으로 들어갈수록 수온이 낮아져 가장 안쪽에 위치한 정점인 1과 정점 2는 수온이 5.6°C 로 가장 낮게 나타났다. 8월의 정점별 저층수온을 살펴보면, 중앙에 위치한 유기물은 표층에서 정점 10과 정점 12에서

Table 1. Distribution of water temperature (°C), sediment temperature (°C), salinity (psu), bottom DO (mg/l) and water depth (m) during winter and summer in Masan Bay, 2004.

Parameters	Water temp. (°C)		Sediment temp. (°C)		Salinity (psu)		DO (mg/l)	
	Feb.	Aug.	Feb.	Aug.	Feb.	Aug.	Feb.	Aug.
1	5.7	25.4	7.5	24.3	32.4	26.0	10.6	3.1
2	5.6	25.5	7.5	23.6	32.4	25.4	10.4	2.0
3	5.9	25.5	6.9	22.7	32.4	26.0	12.3	-
4	5.9	25.3	7.5	22.2	32.7	26.7	10.6	0.9
5	6.0	25.4	7.1	22.4	32.6	26.6	10.4	0.4
6	6.2	25.4	7.4	22.0	32.7	26.3	10.7	0.2
7	6.2	25.4	7.5	20.5	32.8	25.9	10.2	0.2
8	6.5	25.8	7.5	20.8	27.1	26.0	10.9	0.2
9	6.5	25.2	7.5	25.0	32.8	26.2	10.9	0.8
10	6.9	26.2	7.8	21.2	33.0	25.6	12.3	1.1
11	7.0	25.8	8.2	20.8	33.0	26.0	11.5	3.2
12	7.2	26.2	8.1	21.3	33.1	25.6	10.7	2.9
13	7.6	25.6	8.2	21.8	33.2	25.6	10.8	2.3
14	7.1	25.5	8.3	24.9	33.3	26.0	11.5	1.5
15	7.3	-	8.4	24.0	33.3	-	11.2	-
16	7.4	25.6	8.4	-	33.2	23.6	10.8	2.8
17	7.2	24.9	8.4	23.1	33.3	26.1	10.8	2.1
18	7.1	25.3	8.6	23.9	33.2	23.9	10.7	2.8
19	7.1	25.4	8.4	24.1	33.2	22.6	10.6	2.0
20	7.6	25.2	8.5	20.9	27.4	24.1	10.6	2.1
21	7.9	25.7	9.4	22.1	33.6	22.5	10.4	3.2
Mean ± S.D	6.8 ± 0.7	25.5 ± 0.3	7.9 ± 0.6	22.6 ± 1.5	32.4 ± 1.7	25.3 ± 1.3	10.9 ± 0.6	2.0 ± 1.4

26.2°C로 가장 높게 나타났고 정점 17에서 24.8°C로 가장 낮게 나타났다. 그러나 8월의 경우는 거의 모든 지역의 저층수온이 일정한 것으로 조사되었다(Table 1).

퇴적물의 온도는 2월에는 정점3의 6.9°C에서 정점21의 9.4°C까지 나타나서 평균 7.9°C였고, 8월에는 정점 7의 20.5°C에서 정점 9의 25.0°C까지 나타나서 평균 22.6°C를 보였다(Table 1).

저층수(퇴적물 표면~1 m)의 평균 염분은 2월에는 32.4 psu, 8월에는 25.3 psu였다. 정점별 저층염분의 경우 2월에는 외곽의 정점 21에서 33.6 psu로 가장 높았고 정점 8에서 28.1 psu로 가장 낮았으며, 8월에는 내부정점 4에서 26.7 psu로 가장 높게 나타났고, 정점 21에서 22.5 psu로 가장 낮게 나타났다(Table 1).

저층수의 평균용존산소는 2월 조사에서는 10.9 mgO₂/l, 8월에는 2.0 mgO₂/l로 나타났다. 정점별 저층수의 용존산소를 살펴보면 2월의 경우 정점 3과 10에서 12.3 mgO₂/l로 가장 높게 나타났고, 정점 7에서 10.2 mgO₂/l로 가장 낮게 나타났다. 8월의 조사에서는 정점 3을 제외한 모든 내부정점들에서 2.0 mgO₂/l 이하의 빈산소수괴가 출현하였다(Table 1). 정점3에서는 저층의 용존산소농도가 6.1 mgO₂/l로 주변에 비해 과도하게 높게 나타났는데, 이는

항만에 출입하는 선박의 영향이 있었던 것으로 간주된다.

조사해역 내 퇴적물 구성을 살펴보면, 가장 내만에 위치한 정점 1과 2는 실트질 점토(silty clay)로 평균입도는 각각 8.5 ϕ , 8.8 ϕ 였다. 또한 진해만의 항해금지구역에 인접한 정점인 10번 역시 평균입도 9.8 ϕ 로 실트질 점토이었다. 이 세 정점을 제외한 모든 정점은 평균입도 6.9~7.8 ϕ 사이의 점토질 실트(clayey silt) 기질이었다. 전체적으로 마산만은 평균입도 6 ϕ 이상으로 mud 기질인 것으로 나타났다.

퇴적물 내의 유기물 함량(TOC)은 마산만의 돌섬(Jeodo) 근처에 위치한 정점 6과 정점 7,8에서 각각 3.4%, 2.9%로 가장 높게 나타났다. 그 값은 마산만에서 외부로 갈수록 감소해 정점 21에서 가장 낮은 값인 1.5%를 나타냈다(Table 2).

저서동물군집의 조성

종조성

2004년 2월에는 총 7개 동물 문(Phyla)에서 104종의 대형저서동물이 출현하였다. 이들 중 환형동물의 다모류는 총 53종이 출현하여 전체의 51.0%를 차지하여 가장 높은 출현 비율을 나타냈다(Table 3).

Table 2. The sediment properties at each sampling station in Masan Bay during spring, 2004.

Parameters	Sediment composition (%)			Sediment facies	Mz (Ø)	Total organic carbon (%)
	Station	Sand	Silt			
1	1.5	4.1	94.4	Silty clay	8.5	2.6
2	1.0	2.1	96.9	Silty clay	8.8	1.9
3	0.4	97.5	2.1	Clayey silt	7.4	2.8
4	0.9	98.2	0.8	Clayey silt	6.9	2.6
5	1.4	95.2	3.4	Clayey silt	7.0	2.7
6	0.0	97.4	2.6	Clayey silt	7.2	3.4
7	0.3	98.9	0.8	Clayey silt	7.2	2.9
8	0.3	95.8	3.9	Clayey silt	7.4	2.9
9	0.3	96.1	3.6	Clayey silt	6.9	2.5
10	0.0	2.9	97.2	Silty clay	9.8	2.7
11	0.2	97.9	1.9	Clayey silt	7.2	2.4
12	0.9	96.5	2.7	Clayey silt	7.2	2.5
13	0.0	70.4	29.6	Clayey silt	7.7	1.8
14	4.5	92.5	2.9	Clayey silt	7.0	1.7
15	1.7	48.3	50.1	Clayey silt	7.9	2.7
16	0.7	61.3	38.1	Clayey silt	7.8	1.8
17	0.0	93.3	6.7	Clayey silt	7.5	1.8
18	0.2	94.6	5.1	Clayey silt	7.4	1.6
19	0.3	97.4	2.3	Clayey silt	7.3	1.8
20	0.0	87.3	12.7	Clayey silt	7.5	1.7
21	0.0	80.2	19.9	Clayey silt	7.6	1.5

Table 3. Number of species, abundance and biomass of macrobenthos in Masan Bay during February, 2004.

Station/ Taxon	Number of species					Density (ind./m ²)					Biomass (g/m ²)				
	M	P	C	E	O	M	P	C	E	O	M	P	C	E	O
1	1	10	1	-	-	68	915	3	-	-	1.18	46.55	0.03	-	1.83
2	1	7	1	-	1	23	163	3	-	3	0.70	23.78	0.05	-	-
3	1	8	3	-	-	23	640	105	-	-	0.40	20.48	1.33	-	1.95
4	1	5	-	-	-	50	118	-	-	-	1.70	30.48	-	-	-
5	1	5	2	-	-	13	68	8	-	-	0.30	2.85	0.08	-	0.15
6	1	6	1	-	-	5	45	3	-	-	0.15	19.00	0.40	-	-
7	1	6	-	-	-	3	65	-	-	-	0.05	7.33	-	-	-
8	1	8	2	-	1	18	135	5	-	15	0.28	9.05	0.10	-	62.05
9	4	15	3	-	1	410	125	220	-	3	9.90	10.95	1.55	-	4.63
10	1	7	1	-	-	10	108	3	-	-	0.01	21.30	0.03	-	-
11	1	5	-	-	-	105	15	-	-	-	1.90	5.45	-	-	-
12	1	11	1	-	-	120	108	3	-	-	2.03	24.80	0.03	-	-
13	2	11	1	-	1	28	358	3	-	-	1.45	29.90	0.10	-	0.40
14	7	31	5	1	3	68	818	30	5	23	54.55	30.45	2.88	14.68	39.08
15	1	7	2	-	-	40	43	8	-	-	0.38	4.78	0.53	-	-
16	1	6	2	-	-	285	90	5	-	-	5.38	42.43	0.13	-	-
17	7	33	3	-	2	85	378	18	-	8	369.83	24.90	0.33	-	37.45
18	5	34	11	2	3	115	813	265	5	55	30.30	53.20	2.28	4.73	44.78
19	3	23	3	1	5	20	348	73	3	13	68.35	14.40	0.28	21.05	120.93
20	3	18	2	-	1	40	183	8	-	3	21.43	4.53	0.38	-	0.13
21	4	40	14	2	3	80	840	488	8	13	173.15	67.20	1.80	3.08	12.38
Total	14	53	23	3	11	1,609	6,376	1,251	21	136	743.38	493.78	12.25	43.53	325.73
Mean	-	-	-	-	-	77	304	60	1	6	35.4	23.5	0.6	2.1	15.5
SD	2	11	4	1	1	99	307	122	2	13	86	17	1	5	30
%	13.5	51.0	22.1	2.9	10.6	17.1	68.0	13.3	0.2	1.4	45.9	30.5	0.8	2.7	20.1

M: Mollusca, P: Polychaeta, C: Crustacea, E: Echinodermata, O: Other taxa.

Table 4. Number of species, abundance and biomass of macrobenthos in Masan Bay during August, 2004.

Station /Taxon	Number of species					Density (ind./m ²)					Biomass (g/m ²)				
	M	P	C	E	O	M	P	C	E	O	M	P	C	E	O
1	2	7	1	1	1	33	1,163	3	-	5	5.38	12.63	0.03	0.03	0.95
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	0	5	0	0	0	-	370	-	-	-	-	2.28	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	8	25	3	1	5	495	1,170	8	85	8	45.88	63.40	0.15	7.38	199.00
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	1	5	-	-	2	15	13	-	-	10	91.75	0.78	-	-	63.20
18	4	24	2	1	5	798	578	15	98	10	110.03	37.80	0.08	0.50	288.15
19	3	24	2	1	5	33	553	110	20	18	34.68	58.10	2.28	30.88	149.35
20	5	34	2	-	1	65	1,158	5	-	3	218.68	40.70	16.48	-	0.75
21	8	27	17	3	4	408	2,750	110	5	75	352.95	61.93	0.95	35.40	51.58
Total	15	53	24	5	10	1,847	7,755	251	208	129	859.33	277.60	19.95	74.18	752.98
Mean	-	-	-	-	-	88	369	12	10	6	40.9	13.2	1.0	3.5	35.9
SD	7	29	14	2	5	211	691	33	28	17	90	23	4	10	79
%	14.0	49.5	22.4	4.7	9.3	18.1	76.1	2.5	2.1	1.2	43.3	14.0	1.0	3.7	38.0

M: Mollusca, P: Polychaeta, C: Crustacea, E: Echinodermata, O: Other taxa.

2004년 8월의 조사에서는 총 107종이 출현하였다. 이들 중 역시 환형동물의 다모류가 53종이 출현하여 전체의 49.5%로 가장 높은 출현 빈도를 나타냈다. 그러나 8월의 경우 전체 21개 조사정점 중 13개의 정점에서는 종이 출현하지 않았으며, 일부 정점에서만 많은 종이 채집되었다 (Table 4).

개체수 조성

2004년 2월의 대형저서동물의 서식밀도는 448개체/m²였다. 환형동물이 304개체/m²로 총 출현 개체의 68.0%를 차지하여 가장 높은 비중을 나타냈다. 다음으로는 연체동물이 77개체/m²로 17.1%, 절지동물이 60개체/m²로 13.3%를, 극피동물이 1개체/m²로 0.2%를 나타냈다(Table 3).

2004년 8월의 평균서식밀도는 485개체/m²였다. 이중 환형동물이 369개체/m²로 총 출현개체의 76.1%를 차지하여 가장 많았고, 다음으로는 연체동물이 88개체/m² (18.1%), 절지동물이 12개체/m²(2.5%), 극피동물이 10개체/m²(2.1%)의 순으로 나타났다(Table 4).

생물량 조성

2004년 2월에 출현한 대형저서동물의 총 생물량은 77.1 g/m²였다. 연체동물이 35.4 g/m²로 전체 생물량의 45.9%를 차지하여 가장 많은 비중을 나타냈고, 다음으로 환형동물이 23.5 g/m²로 30.5%를 차지하여 역시 많은 비중을 차지하였다. 절지동물은 1 g/m²로 전체의 0.8%를 차지하였고 극피동물은 5 g/m²로 전체의 2.7%를 차지하였다 (Table 3).

2004년 8월의 총 생물량은 94.5 g/m²였다. 연체동물이 40.9 g/m²로 전체 생물량의 43.3%를 차지하였고, 기타 동물 문이 35.9 g/m², 37.9%로 높게 나타났고 환형동물은 13.2 g/m²로 전체의 14.0%를 차지하였다. 기타동물문에서 이와 같이 많은 비율을 차지한 이유는 8월에 척색동물의 유령명개(*Ciona intestinalis*)가 대량으로 출현하였기 때문이었다(Table 4).

지역적 분포양상

2004년 2월의 조사에서는 가장 외곽에 위치한 정점 21

에서 63종, 서식밀도 1,365개체/m²로 가장 풍부한 종 조성을 나타냈다(Fig. 2, Fig. 3). 생물량은 정점 17에서 433 g/m²로 가장 높게 나타났다(Fig. 4). 반면, 가장 빈약한 종 조성을 보인 곳은 정점 4와 정점 11로 6종이 출현하였고, 가장 낮은 서식밀도를 보인 정점은 돌섬(Jeodo) 근처의 정점 6으로 8종, 53개체/m²의 서식밀도를 보였다.

2004년 8월의 조사에서도 정점 21에서 59종, 3,360개체/m², 생물량 503 g/m²로 가장 풍부한 생물조성을 나타냈

다(Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4). 다음으로는 정점 14에서 42종, 1,768개체/m², 316 g/m²로 풍부하게 나타났다. 2004년 8월에는 저층 빈산소수괴의 형성과 관련하여 육지에 인접한 많은 정점들에서 종이 출현하지 않은 현상이 발생하였다. 그러나 가장 내만에 위치한 정점 1에서는 12종, 1,205개체/m²의 높은 서식밀도를 보였다. 이는 잠재적 오염지 시종인 모자예쁜얼굴갯지렁이(*Paraprionospio pinnata*)가 대량 출현한 결과이다.

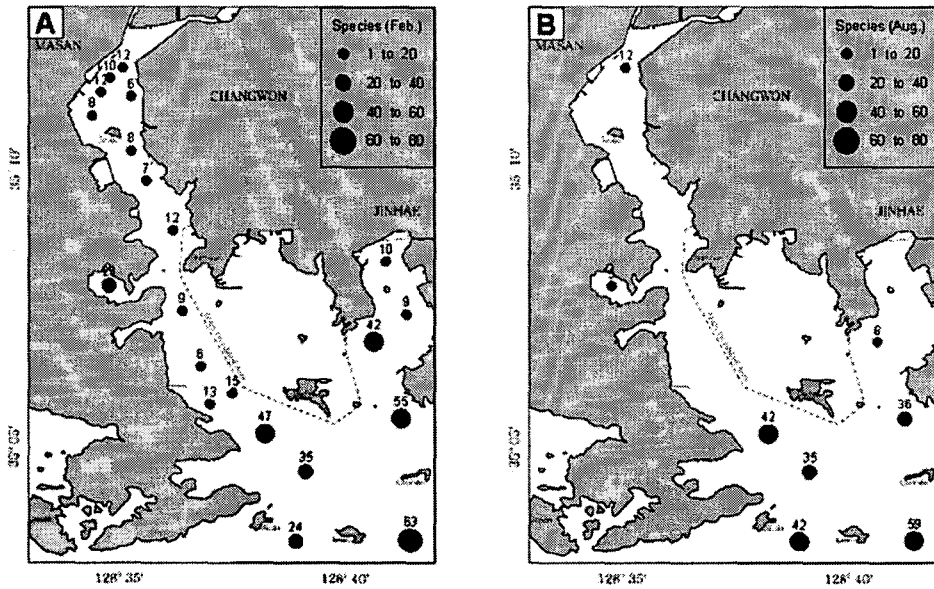


Fig. 2. The number of species of macrobenthos in Masan Bay (A: February, B: August).

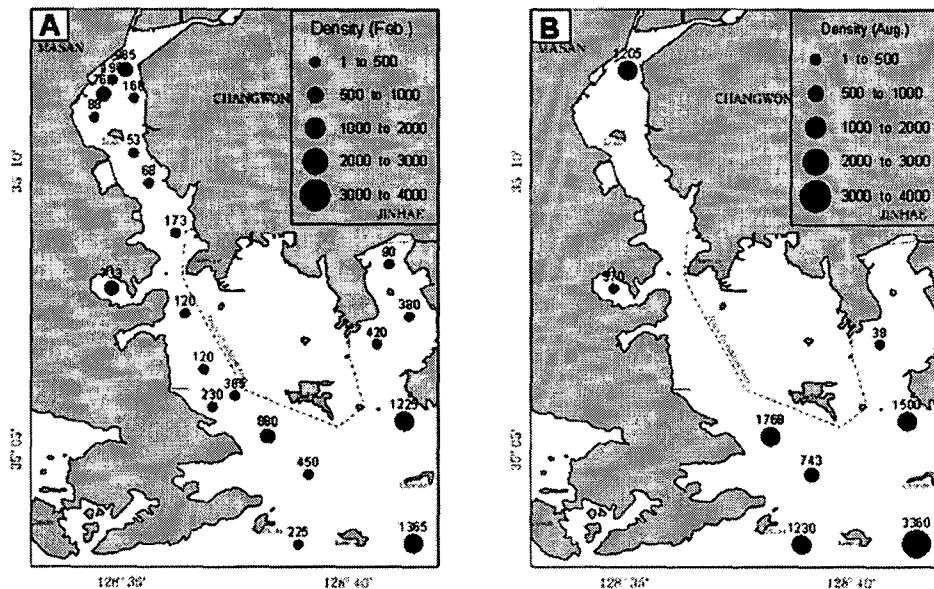


Fig. 3. The mean density of macrobenthos in Masan Bay (Ind./m², A: February, B: August).

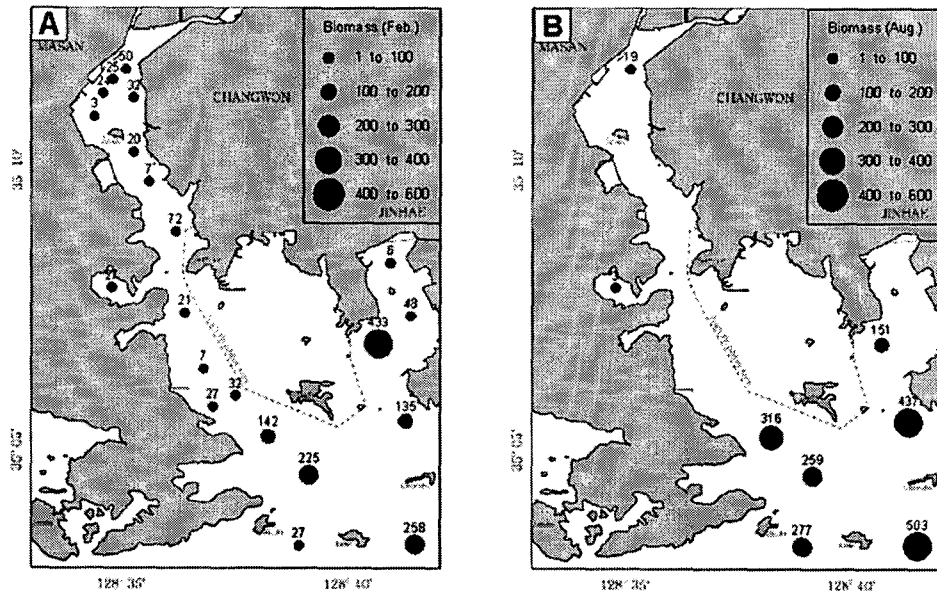


Fig. 4. The total biomass of macrobenthos in Masan Bay (g/m^2 , A: February, B: August).

Table 5. Dominant species of macrobenthic communities in Masan Bay during winter and summer, 2004.

February, 2004					August, 2004				
Species name	Taxa*	%	Density	Freq.	Species name	Taxa*	%	Density	Freq.
<i>Paraprionospio pinnata</i>	P	24.2	108	19	<i>Prionospio cirrifera</i>	P	20.4	100	1
<i>Theora fragilis</i>	M	14.1	63	20	<i>Lumbrineris longifolia</i>	P	14.5	71	8
<i>Lumbrineris longifolia</i>	P	7.4	33	9	<i>Theora fragilis</i>	M	13.2	64	6
<i>Nectoneanthes latipoda</i>	P	7.3	33	19	<i>Paraprionospio pinnata</i>	P	12.4	61	7
<i>Tharyx</i> sp.	P	7.1	32	7	<i>Tharyx</i> sp.	P	7.7	38	6
Amphipoda sp. 1	Cr	6.7	30	12	<i>Ruditapes philippinarum</i>	M	3.1	15	1
<i>Capitella capitata</i>	P	3.0	13	8	<i>Chaetozone setosa</i>	P	2.6	13	4
<i>Glycinde</i> sp.	P	2.7	12	11	<i>Glycera chirori</i>	P	2.1	10	5
<i>Glycera chirori</i>	P	2.2	10	16	<i>Ciona intestinalis</i>	Ch	1.8	9	3
<i>Euchone analis</i>	P	1.7	8	12	<i>Heteromastus filiformis</i>	P	1.7	9	5

*M: Mollusca, P: Polychaeta, Cr: Crustacea, Ch: Chordata, Density: ind./m².

우점종

2004년 2월에 개체수의 백분율이 1% 이상 되는 종은 모두 15종이었다. 이 중 가장 우점한 종은 환형동물의 모자애뿌얼굴갯지렁이(*P. pinnata*)로 서식밀도는 108개체/m²였고, 전체의 24.2%를 차지하였다. 다음으로 우점한 종은 연체동물의 아기반투명조개(*Theora fragilis*)가 63개체/m², 환형동물의 긴자락송곳갯지렁이(*Lumbrineris longifolia*)가 33개체/m², 환형동물의 경남넓적발참갯지렁이(*Nectoneanthes latipoda*)가 32개체/m²로 우점하였다 (Table 5).

가장 우점한 종인 모자애뿌얼굴갯지렁이(*P. pinnata*)는 정점 11과 정점 20을 제외한 전 정점에서 출현하였는데,

특히 마산만 가장 내부 정점인 1에서 688개체/m²로 가장 많이 출현을 하였다. 이 종은 정점 1에서만 대량으로 출현을 하였고 그 외의 다른 정점에서는 고른 출현분포양상을 보였다(Fig. 5).

연체동물의 아기반투명조개(*T. fragilis*)는 평균 63개체/m²로 전체의 14.1%를 차지하였다. 특히 정점 9와 정점 16에서 각각 385개체/m², 285개체/m²로 가장 많이 출현을 하였다(Fig. 5).

환형동물의 긴자락송곳갯지렁이(*L. longifolia*)는 평균 33개체/m²로 전체의 7.4%를 차지하였다. 이 종은 마산만 내해에서는 전혀 출현을 하지 않았고, 마산만외해역에만 분포를 하는 것을 알 수 있었다. 이 종은 정점 21에서 180

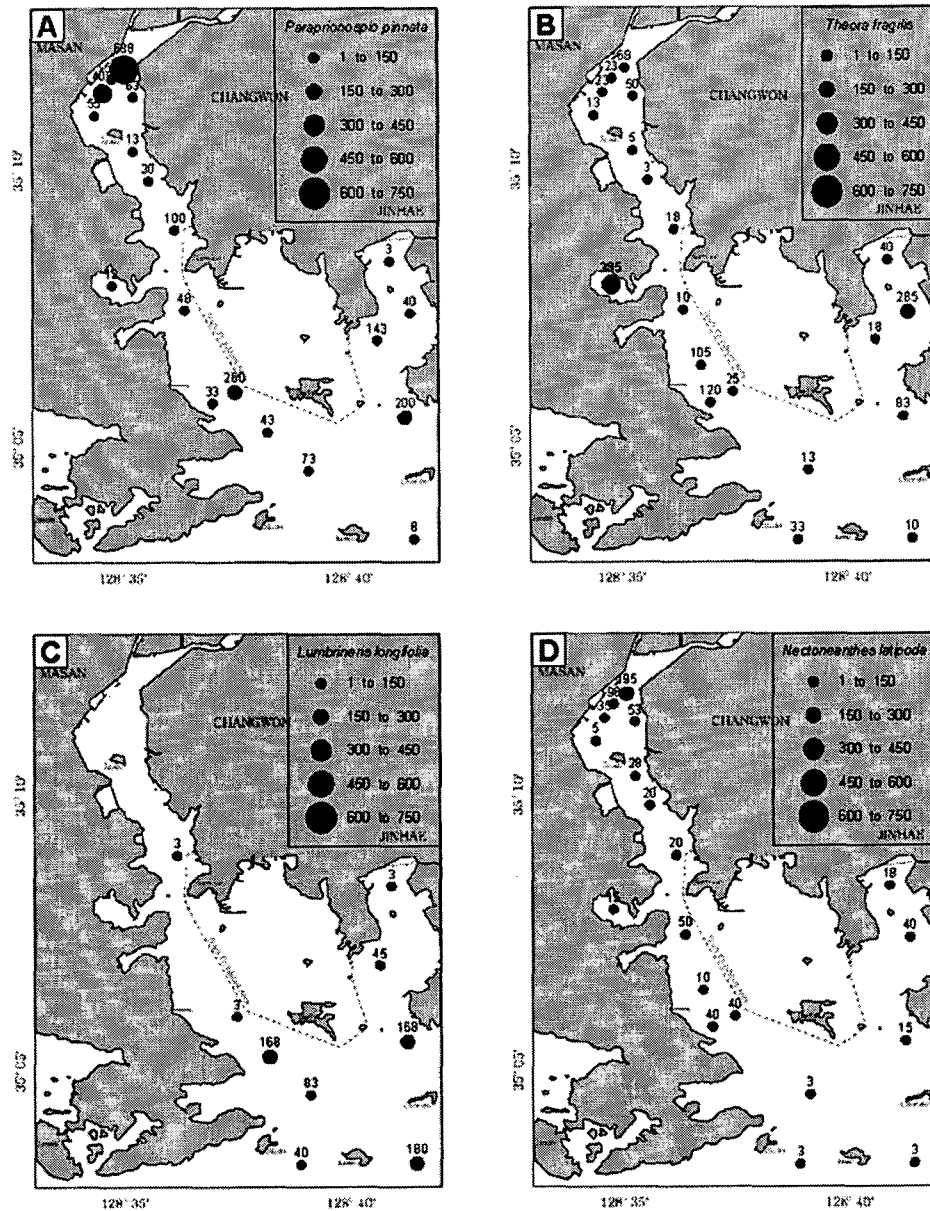


Fig. 5. Distribution of dominant species at each station in February, 2004 (Unit: Ind./m², A: *Prionospio pinnata*, B: *Theora fragilis*, C: *Lumbrineris longifolia*, D: *Necteanthes latipoda*).

개체/m²로 가장 많이 출현을 하였다(Fig. 5).

다모류의 경남넓적발갯지렁이(*N. latipoda*)는 32개체/m²로 전체의 7.3%를 차지하였다. 이 종은 가장 내만에 위치한 정점 1에서 195개체/m²로 가장 많이 출현하였고, 정점 2에서도 98개체/m²가 출현하였다. 이 종은 전 해역에 고루 분포를 하였으나, 주로 내만역에 많이 출현하는 것을 알 수 있었다.

2004년 8월의 조사에서 상위 1% 이상, 우점하게 출현한 종은 모두 16종이었다. 이중 높은 빈도를 차지한 종은

환형동물의 일굴갯지렁이과의 *Prionospio cirrifera*, 긴자락송곳지렁이(*L. longifolia*), 모자어뽀일굴갯지렁이(*P. pinnata*)와 연체동물의 아기반투명조개(*T. fragilis*)로 각각 100개체/m², 71개체/m², 61개체/m², 64개체/m²가 출현하였다(Table 5).

일굴갯지렁이류의 *P. cirrifera*는 전체의 20.4%를 차지하여 가장 우점 하였으나, 마산만에서 가장 외곽에 위치한 정점 21에서만 2,098개체/m²의 매우 높은 서식밀도로 출현하였다(Fig. 6). 2004년 2월의 조사에서는 상위 1%의

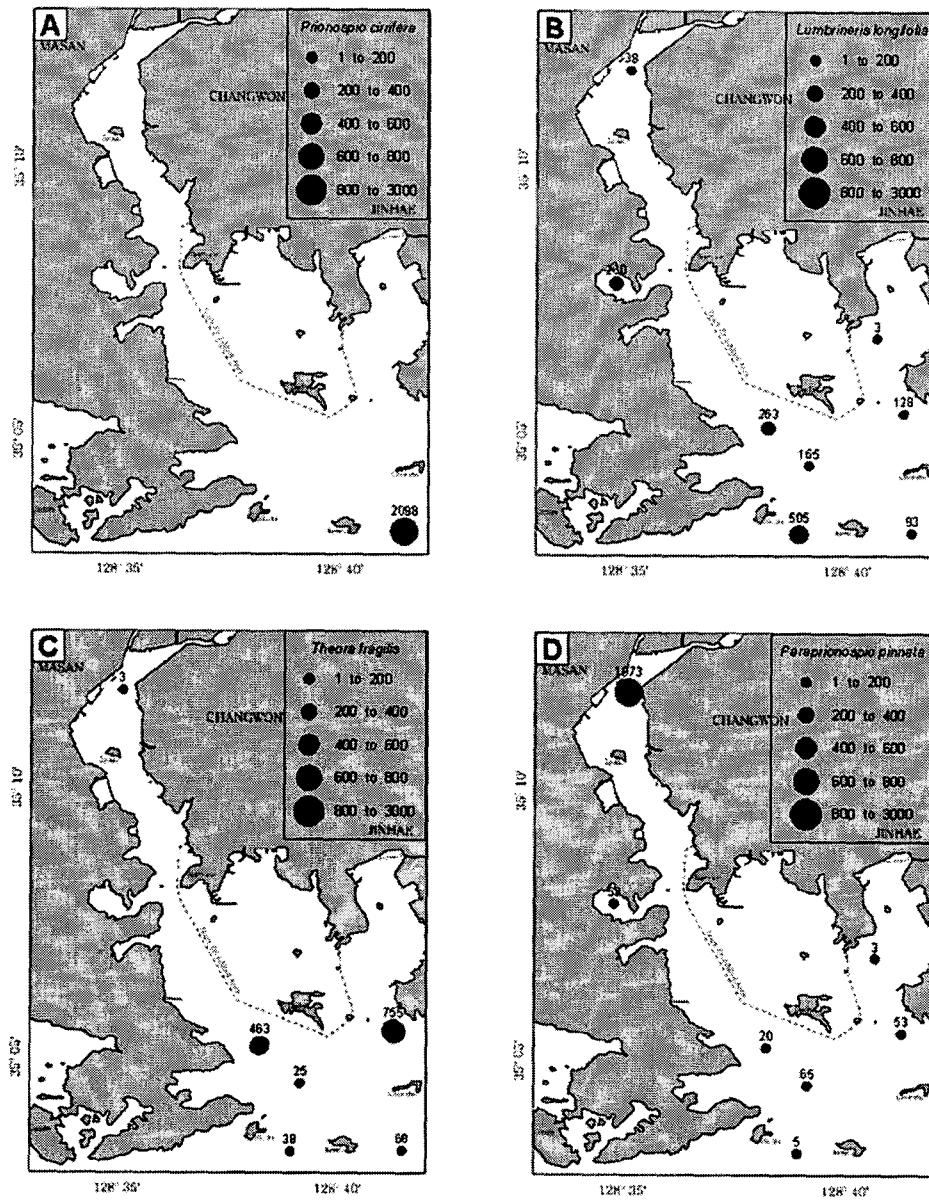


Fig. 6. Distribution of dominant species at each station in August, 2004 (Unit: Ind./m², A: *Prionospio cirrifera*, B: *Lumbrineris longifolia*, C: *Theora fragilis*, D: *Paraprionospio pinnata*).

우점종에도 포함되지 않아 여름철인 8월경에만 집중출현하는 양상을 보였다.

연체동물의 아기반투명조개(*T. fragilis*)는 평균 64개체/m²가 출현하여 전체의 13.2%를 차지하였다. 이 종은 정점 14와 18에서 가장 많이 출현을 하였는데 그 밀도는 각각 463개체/m², 755개체/m²였다.

긴자락송곳갯지렁이(*L. longifolia*)는 평균 71개체/m²로 전체의 14.5%를 차지하였다. 이 종은 마산만의 가장 내부에 위치한 정점 1에서도 일부 출현을 하였으나, 주로 외해

역에서 출현을 하였다. 특히 이 종은 정점 20에서 505개체/m²로 가장 많이 출현을 하였다(Fig. 6).

2월에 가장 우점하게 나타났던 모자애뿐알갯지렁이(*P. pinnata*)는 8월에 다소 출현량이 감소하여 평균 61개체/m²로 전체의 12.4%를 차지하였다. 이 종은 마산만 내부의 몇 개 정점과 외해역에서 출현을 하였는데, 특히 정점 1(1,873개체/m²)에서 대량으로 출현을 하였다. 그 밀도는 2004년 2월에 비해서도 월등히 증가한 것을 알 수 있었다.

군집지수와 집괴분석

2004년 2월의 종다양성지수(H')는 외해역에 위치한 정점 11에서 0.5로 가장 낮았고 마산만에서 가장 외곽에 위치한 정점 18과 정점 21에서 2.8로 가장 높게 나타났다 (Fig. 7). 정점의 위치에 따른 종다양성지수를 살펴 보면, 마산만 내부 지역의 값이 대체로 낮았고 외해역으로 갈수록 그 값이 높아지는 경향을 보였다. 종풍부도지수(R)는 마산만 내부정점인 정점 4($R=0.7$)에서 가장 낮게 나타났고, 정점 21에서 7.3로 가장 높게 나타났다(Fig. 8). 종균등도지수(J)은 종다양성지수와 같이 정점 11에서 0.4로 그 값이 가장 낮았고, 마산만 내부 정점인 정점 4에서 0.8로 가장 높았다(Fig. 9).

2004년 8월에는 21개 정점 중 13개 정점에서 종이 출현하지 않아 군집지수에 많은 영향을 주었다. 종이 출현한 정점 중 가장 낮은 종다양성지수를 보인 곳은 마산만 내부지역인 정점 1($H'=0.6$)이었다. 가장 높은 종다양성지수를 보인 정점은 진해만 입구 해역의 정점 19로 그 값은 2.8이었다. 종풍부도지수는 정점 9에서 0.8로 가장 낮게 나타났고 정점 21에서 8.1로 가장 높게 나타났다. 종균등도지수는 정점 1에서 가장 낮고 정점 17에서 가장 높은 값을 보였는데 그 값은 각각 0.2, 0.9였다.

2004년 2월의 저서오염지수(BPI)는 정점 11에서 70로 가장 높게 나타났다. 내만에 위치한 정점들은 모두 30

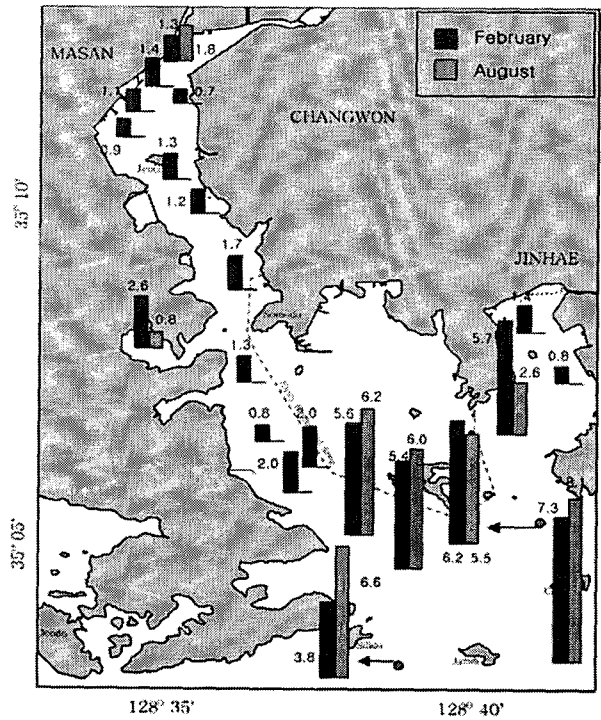


Fig. 8. Species richness index (R) at each station in February and August, 2004.

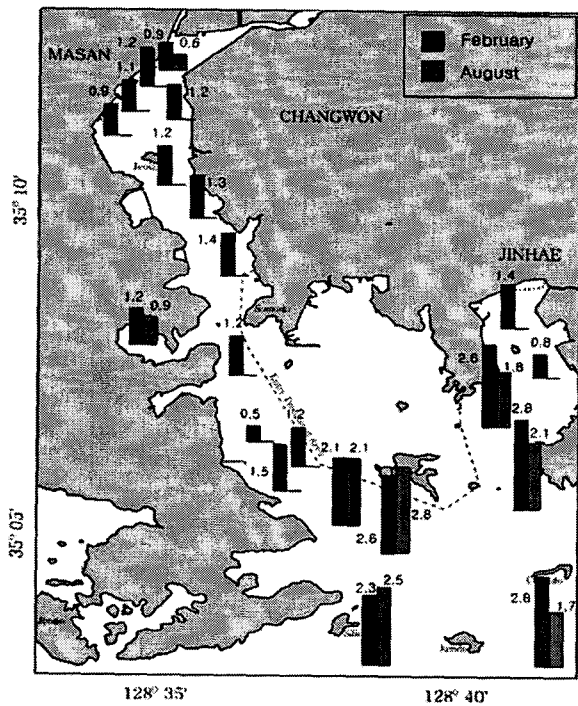


Fig. 7. Species diversity index (H') at each station in February and August, 2004.

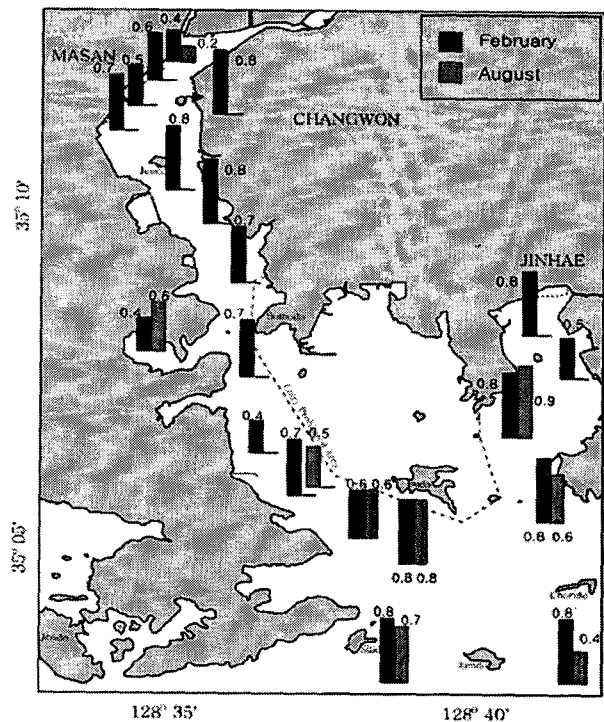


Fig. 9. Species evenness index (J) at each station in February and August, 2004.

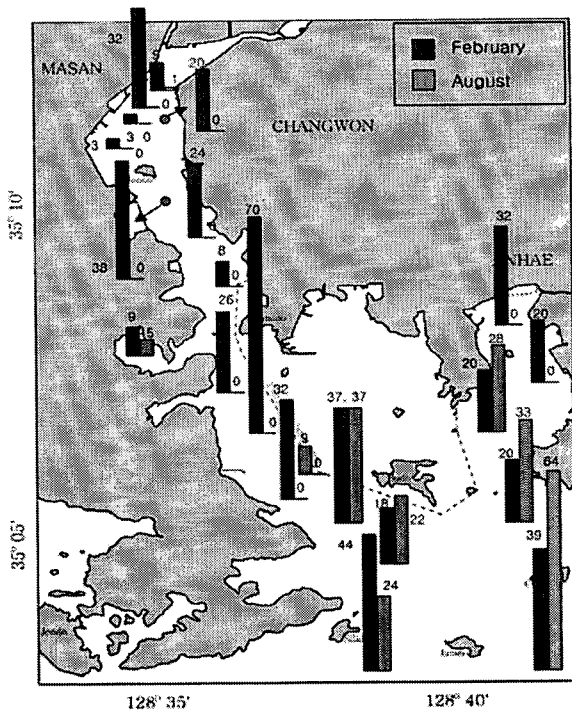


Fig. 10. Benthic pollution index (BPI) at each station in February and August, 2004.

이하로 낮은 값을 보였는데, 특히 정점 3과 정점 5는 각각 저서오염지수 3으로 가장 낮은 값을 보였다. 2004년 8월의 저서오염지수는 정점 21에서 가장 높은 값인 64를 나타냈고, 정점 1과 정점 9에서는 각각 1과 5로 낮게 나타났다(Fig. 10). 이와 같이 마산만 내만역의 대형저서동물군집은 유기물의 유입에 의한 서식지 교란, 즉 저층용존산소 농도의 감소등과 같은 현상으로 인해 시, 공간적으로 큰 변동을 보였고, 외해에 위치한 정점에서는 이러한 변동이 비교적 적었다.

출현한 개체수 자료를 이용하여 집괴분석을 실시한 결과, 2004년 2월과 8월은 크게 두개의 정점군으로 분류되었다. 2004년 2월의 경우 마산만 내부지역과 외해역 지역으로 확연히 구분이 되었다(Fig. 11). 정점군 A는 마산만 내부지역에 위치한 정점들과 진해만에 위치한 정점들로 육지와 근접하여 있는 정점들이었다. 이 정점군에서 채집된 총 종수는 39종으로 평균서식밀도는 305개체/m², 생물량은 26.7 g/m²였다. 정점군 B는 진해만 외해역과 거제도에 인접해 있는 정점들이었다. 이 정점군에서 채집된 총 종수는 93종, 평균서식밀도는 800개체/m², 평균생물량 203.1 g/m²로 정점군 A에 비해 풍부한 종 조성을 보였다.

2004년 8월의 집괴분석은 종이 출현하지 않은 13개 정점을 제외하고 실시하였다. 그 결과 정점 17이 독립된 하

나의 정점군(그룹 A)으로 분리되었고, 나머지 정점들은 또 다른 정점군(그룹 B)으로 구분되었다. 정점군 B는 마산만 가장 내부에 위치한 정점 1과 정점 9(그룹 B-1)와 외해에 위치한 정점들(그룹 B-2)로 구분을 할 수 있었다(Fig. 11). 즉, 하계의 정점군은 무생물지역을 포함하여 총 4개의 정점군으로 구분할 수 있다. 정점 17(그룹 A)은 총 8종이 출현하여 평균서식밀도는 15개체/m²이었다. B-1 정점군에서 출현한 총 종수는 13종으로 평균서식밀도는 788개체/m², 평균생물량은 10.6 g/m²였다. B-2 정점군에서는 104종, 평균서식밀도 1720개체/m², 평균생물량은 361.4 g/m²의 군집조성을 보였다. 8월 역시 2월과 마찬가지로 내만역보다는 외해역의 종조성이 풍부한 것을 알 수 있었다.

4. 토 의

마산만 주변 해역의 21개 정점에서 2월과 8월에 조사한 결과 각각 107종, 104종이 출현하였다. 이는 채집방법이나 정점에서 다소 차이는 있지만 기존의 연구와 비교를 해본 결과, 동일한 지역에서 1983년에 5개 정점에서 조사된 65종(Hong and Lee 1983)과 1992년에 13개 정점에서 조사된 107종(Lim and Hong 1994)에 비해서는 유사하거나 높은 값을 보인 반면, 1999년 5월에 16개 정점에서 조사한 결과에서는 28종만이 출현하였는데(SNU 1999), 이는 본 연구에 비해 낮은 종수를 보임을 알 수 있었다(Table 6). 그러나 1999년 5월의 연구는 마산만 내부지역만을 대상으로 하였고 비교적 종이 풍부한 외곽지역은 제외되어 있어 1999년에 비해 2004년에 종이 증가하였다고 판단하기는 어려웠다. 그리하여 본 연구에서 1999년과 비교적 유사한 위치에 있는 정점(1~10)을 대상으로 다시 조사하여 본 결과, 조사시기에는 약간의 차이가 있지만 1999년 5월 조사에서는 16개 정점에서 28종이, 2004년 2월 조사에서는 10개 정점 31종이 출현하여 두 조사기간에 유사한 종조성을 보였으며, 서식밀도에 있어서도 1999년 조사에서는 338개체/m², 본 연구에서는 348개체/m²로 두 조사에서 유사한 밀도를 보였다. 그러나 동일 정점(1~10)에서 2004년 8월에는 단 2개 정점에서만 저서동물이 출현하여 마산만의 내부역에서는 여름철과 겨울철(또는 봄철) 간에는 대형저서동물의 군집조성에 많은 변화가 있음을 알 수 있었다.

서식밀도는 본 연구에서 2월과 8월에 각각 446개체/m², 486개체/m²로 1983년에 조사된 152개체/m² 보다는 3배 가량 증가를 하였으며(Hong and Lee 1983), 1992년에 조사된 405개체/m² 보다 높았다(Lim et al. 1992).

본 조사해역의 출현 종수는 남해안의 다른 지역들과 비교해 보았을 때, 여자만의 142종(Lim et al. 1991), 득량만

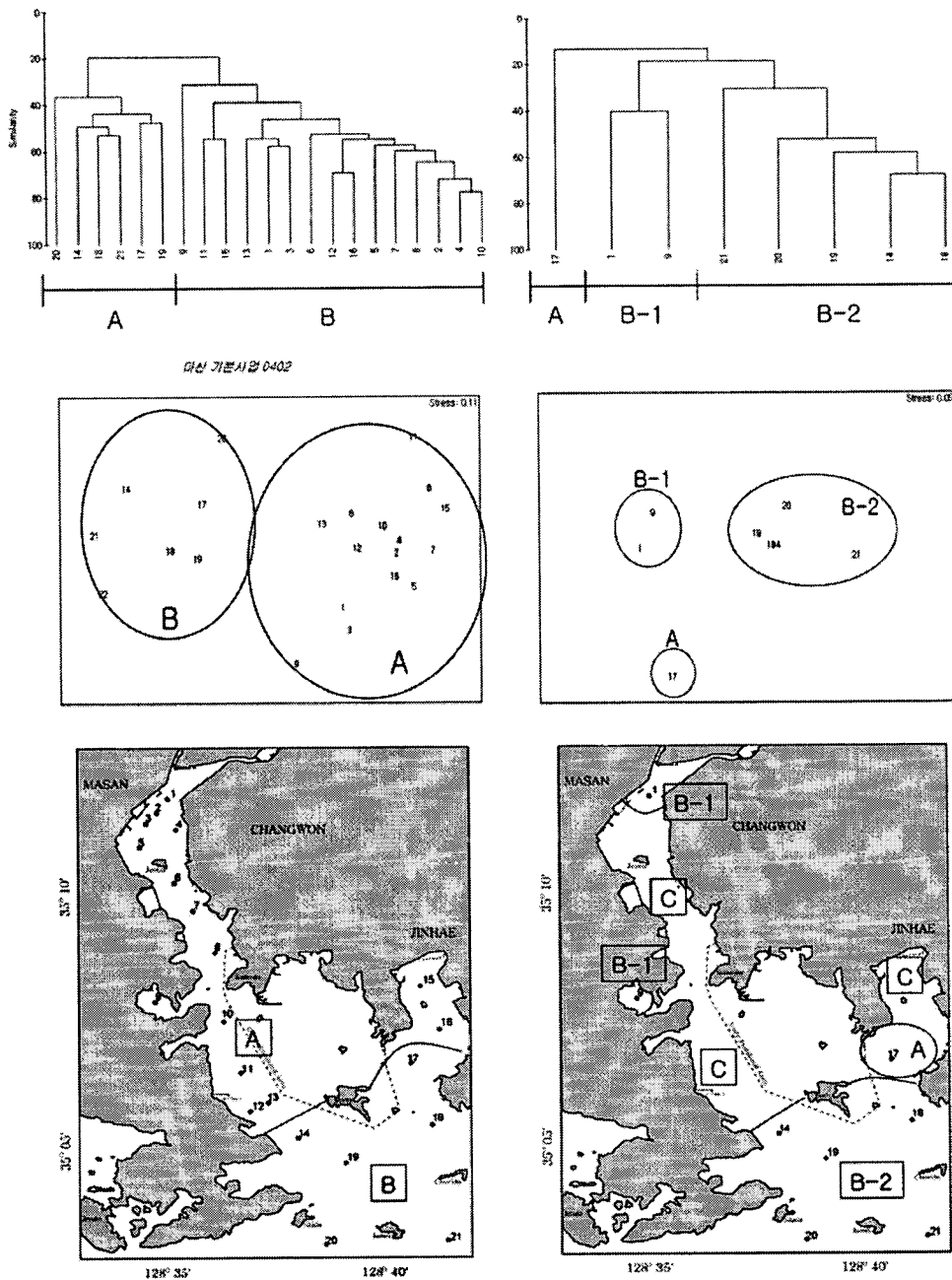


Fig. 11. Dendrograms and 2-dimensional ordinations (MDS) of sampling stations based on the abundance data (C: abiotic area).

의 118종(Ma *et al.* 1995), 앵강만의 233종(Lim *et al.* 1999), 소라도 주변해역의 217종(Lim and Choi 2001)에 비해 낮게 나타났다. 서식밀도에 있어서도 여자만의 388 개체/m²에 비해 다소 높게 나타났으나 다른 해역에 비해서는 낮게 나타났다(Table 6).

마산만에 출현하는 우점종들은 유기물 함량이 높은 정

점에서 높은 밀도로 출현하는 기회종의 특성을 가진다 (Lim and Hong 1997a). 1990년에 마산만 내부 지역에서 가장 우점하게 나타났던 종은 다모류의 모자에뿐얼굴갯지렁이(*P. pimata*)로 이 종은 본 연구에서도 내부지역에서 가장 우점한 종으로 조사되었다. 이 외에도 연체동물의 아 기반투명조개(*T. fragilis*)와 다모류의 긴자락송곳지렁이

Table 6. Comparisons between the characteristics of macrobenthos in Masan Bay and major bays of the southern coast of Korea.

Locality	Sediment facies	Sampling size	No. of sampling station	No. of species	Density (ind./m ²)	Reference
Masan Bay	Clayey silt	0.4 m ²	21	104	448	The present study (February)
Masan Bay	Clayey silt	0.4 m ²	21	107	485	The present study (October)
Masan Bay	Silt	0.2 m ²	5	65	152	Hong and Lee (1983)
Masan Bay	Silt	0.2 m ²	16	28	338	SNU (1999)
Chinhae Bay	Silt	0.2 m ²	8	237	1,939	Paik and Yun (2000)
Chinhae Bay	Silty clay	0.5 m ²	12	287	1,046	Lim and Hong (1997b)
Chinhae Bay	Silty clay	0.3 m ²	13	107	405	Lim <i>et al.</i> (1992)
Yoja Bay	Clayey silt	0.3 m ²	11	142	338	Lim <i>et al.</i> (1991)
Deukryang Bay	Clayey silt	0.3 m ²	20	118	1,432	Ma <i>et al.</i> (1995)
Aenggang Bay	Clayey silt	0.3 m ²	18	233	1,358	Lim <i>et al.</i> (1999)
Sori-do	-	0.3 m ²	14	217	1,068	Lim and Choi (2001)

Table 7. Comparison of dominant species in Masan Bay (Density: ind./m²).

Study location	Inner area in Masan Bay		Outer area in Masan Bay		
	Study period	Species name	Density	Species name	Density
June 1987 to May 1990 (Lim and Hong 1997a)		<i>Paraprionospio pinnata</i>	37	<i>Lumbrineris longifolia</i>	296
		<i>Raetellops pulchella</i>	37	<i>Theora fragilis</i>	172
		<i>Theora fragilis</i>	29	<i>Magelona japonica</i>	118
		<i>Sigambra tentaculata</i>	16	<i>Spiochaetopterus cf. costarum</i>	55
		<i>Lumbrineris longifolia</i>	15	<i>Glycinde gurjanovae</i>	48
		<i>Mediomastus sp.</i>	13	<i>Paraprionospio pinnata</i>	35
February, 2004 (Present study)		<i>Paraprionospio pinnata</i>	147	<i>Paraprionospio pinnata</i>	73
		<i>Theora fragilis</i>	60	<i>Theora fragilis</i>	66
		<i>Nectoneanthes latipoda</i>	52	<i>Lumbrineris longifolia</i>	63
		Amphipoda sp. 1	28	<i>Tharyx sp.</i>	60
		<i>Capitella capitata</i>	26	Amphipoda sp. 1	32
		<i>Glycera chirori</i>	4	<i>Glycinde sp.</i>	22
August, 2004 (Present study)		<i>Paraprionospio pinnata</i>	113	<i>Prionospio cirrifera</i>	191
		<i>Lumbrineris longifolia</i>	30	<i>Theora fragilis</i>	123
		<i>Sigambra tentaculata</i>	8	<i>Lumbrineris longifolia</i>	105
		<i>Macoma sp.</i>	3	<i>Tharyx sp.</i>	72
		<i>Nectoneanthes latipoda</i>	2	<i>Ruditaphes philippinarum</i>	29
		<i>Mesochaetopterus sp.</i>	1	<i>Chaetozone setosa</i>	24

(*L. longifolia*) 역시 우점한 종으로 조사되었다. 1990년에 마산만 내해역에서 가장 우점했던 종은 긴자락송곳지렁이(*L. longifolia*)였다. 그러나 본 연구에서는 내만역과 마찬가지로 모자예쁜얼굴지렁이(*P. pinnata*; 2004년 2월)와 *P. cirrifera*(2004년 8월)가 가장 우점하게 나타나 1990년 조사와 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다(Table 7).

*P. pinnata*는 2월에 108개체/m²가 출현하여 득량만(Ma *et al.* 1995)의 28개체/m², 마산만(Hong and Lee 1983)의 46개체/m², 진해만(Paik and Yun 2000)의 103개체/m²보다 높은 밀도를 보였으나 진해만(Lim and Hong 1997b)의

157개체/m² 보다는 낮은 밀도를 나타냈다. 이 종은 유기물오염이 되었거나 산소의 함량이 낮은 부영양화된 해역의 지표종으로 알려져 있는데(Paik and Yun 2000), 본 연구에서도 가장 내만에 위치한 정점 1에서 가장 많이 출현하였다. 특히 8월의 경우, 빈산소수괴가 형성되어 거의 출현하지 않았던 내만지역의 다른 정점들에 비해 정점 1은 이 종이 대량 출현하였다. 1999년의 조사에서도 최우점종으로 출현하였던 종이였다(SNU 1999).

*L. longifolia*는 유기물에 오염된 지역에서 높은 서식밀도를 갖는 특성이 있다(Yi *et al.* 1982; Shin and Koh

1990). 본 연구에서 이 종은 2월에 33개체/m², 8월에 71개체/m²가 출현하였다. 기존의 마산만 조사와 비교를 해 보았을 때, 1983년의 5개체/m²에 비해서는 증가하였으나, 1992년의 70개체/m², 1997년의 174개체/m², 2000년의 417개체/m²에 비해 현저히 감소한 것을 알 수 있었다 (Hong and Lee 1983; Lim et al. 1992; Lim and Hong 1997b; Paik and Yun 2000).

*T. fragilis*는 유기물 오염이 진행된 지역에서 무리를 이루는 기회종이며, 울산만이나 진해만 등에서 오염지표종으로 알려져 있다(Yi et al. 1982; Paik and Yun 2000). 이 종은 마산만의 경우에는 2월에 63개체/m², 8월에 64개체/m²가 출현하였으며, 진해만에서는 1990년에는 84개체/m²가 출현하였고(Lim et al. 1995), 최근에는 110개체/m²가 출현하였다(Paik and Yun 2000).

마산만 지역의 군집지수(H', J, R)는 육지에 인접한 마산만 내만역은 낮게, 외해역은 높게 나타났다. 이는 겨울과 여름철이 크게 다르지 않았으며, 군집유사도에 의한 집괴분석 결과 역시 내만역과 외만역으로 구분이 되었다. 이는 기존의 마산만 및 진해만의 연구들과 유사한 결과를 보이고 있으며, 여름철 빈산소수괴의 형성에 따라 저서생물이 출현하지 않았던 연구와도 동일한 결과를 보였다(Lim and Hong 1997a). 과거의 연구들로 미루어 볼 때, 마산만 지역의 hypoxia 현상은 매년 되풀이 되고 있다. 이렇게 hypoxia 현상이 발생하는 까닭은 여름철 마산만에서 빈번히 발생하는 적조현상과, 내부 정점에 과도한 유기물의 유입으로 인해 저층의 산소가 모두 유기물 분해에 사용되었기 때문이다. Wu와 Richard(1979)의 연구에서도 hypoxia 현상은 phytoplankton의 대량 번식과 관련이 있다고 발표하였다. 실제 국외에서도 여름철이나 온대지역에 위치한 곳은 hypoxia 현상이 나타나고 있고, 그로 인해 생물의 소멸과 천이가 나타나고 있다고 보고하고 있다(Pearson and Rosenberg 1978; Wu 1982). 본 연구에서도 조사기간 동안 여름철 마산만 내부지역에서 산소가 고갈되어 종이 소멸하는 현상이 발견되었다. 실제 갯지렁이(*Loimia medusa*)를 이용한 실험에서도 용존산소의 농도가 14.3%(1.0 mg/l)일 때, 갯지렁이의 생존율이 12시간 이후 50%까지 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 anoxia 상태에서는 132시간 이후 생존율이 0%로 조사되었다(Llanos and Diaz 1994). 이러한 hypoxia 현상은 대형저서동물 군집의 종조성과 서식밀도의 차이에 결정적인 영향을 주는 것으로 생각되었으며, 겨울철과 여름철의 군집조성에 많은 차이를 보이는 원인이 되고 있다. 따라서 마산만의 저서동물군집의 시·공간적인 분포양상을 정확하게 이해하기 위해서는 향후 hypoxia에 따른 대형저서동물군집의 천이 및 재가입 과정에 대한 연구가 필요하다고 판단되었다.

사 사

본 연구는 한국해양연구원의 기본사업인 “남해특별관리해역의 환경위해성평가 연구: 마산연안 중심연구(BSPE 91800)”의 일환으로 수행되었으며, 본 연구의 자료획득에 도움을 주신 모든 연구자들에게도 깊은 감사를 표합니다. 본 논문의 세세한 부분까지 검토해 주시고 좋은 의견을 주신 여수대학교의 신현출 교수님과 다른 한분의 심사자에게 감사를 드립니다.

참고문헌

- Choi, J.-W., S. Hyun, and M. Chang. 2003. The summer benthic environmental conditions assessed by the functional groups of macrobenthic fauna in Gwangyang Bay, southern coast of Korea. *Kor. J. Environ. Biol.*, 21(2), 101-113. (In Korean)
- Fork, R.L. and W.C. Ward. 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.*, 27, 3-36.
- Hong, J.-S. 1987. Summer oxygen deficiency and benthic biomass in the Chinhae Bay System, Korea. *J. Oceanogr. Soc. Kor.*, 22, 246-256.
- Hong, J.-S. and J.H. Lee. 1983. Effects of the pollution on the benthic macrofauna in Masan Bay, Korea. *J. Oceanogr. Soc. Kor.*, 18(2), 169-179.
- Lim, H.-S. and J.-S. Hong. 1994. Ecology of the macrobenthic community in Chinhae Bay, Korea. 1. Benthic environment. *J. Kor. Fish. Soc.*, 27(2), 200-214. (In Korean)
- Lim, H.-S. and J.-S. Hong. 1997a. Ecology of the macrozoobenthos in Chinhae Bay, Korea. 2. Distribution pattern of the major dominant species. *J. Kor. Fish. Soc.*, 30, 161-174. (In Korean)
- Lim, H.-S. and J.-S. Hong. 1997b. Ecology of the macrozoobenthos in Chinhae Bay, Korea. 3. Community structure. *J. Kor. Fish. Soc.*, 30, 175-187. (In Korean)
- Lim, H.-S. and J.-W. Choi. 2001. Macrobenthic community in the soft bottom around Sorido Island, Southern Coast of Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 34(3), 225-237. (In Korean)
- 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(1), 80-92. (In Korean)
- 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(1), 21-34. (In Korean)
- Lim, H.-S., J.-W. Choi, J.-G. Je, and J.-H. Lee. 1992.

- Distribution pattern of macrozoobenthos at the farming ground in the western part of Chinhae Bay, Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 4(1), 80-92. (In Korean)
- Lim, H.-S., J.-G. Je, J.-W. Choi, and J.-H. Lee. 1991. Distribution pattern of the macrozoobenthos at Yoja Bay in summer. *Ocean Res.*, 13(2), 31-46. (In Korean)
- Llanso, R.J. and R.J. Diaz. 1994. Tolerance to low dissolved oxygen by the tubicolous polychaeta *Loimia medusa*. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 74, 143-148.
- Ma, C.-W., S.-Y. Hong, and H.-S. Lim. 1995. Macrobenthic fauna of Deukryang Bay, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 28(5), 503-516. (In Korean)
- Margalef, R. 1958. Information theory in ecology. *Gen. System.*, 3, 36-71.
- Nestlerode, J.A. and R.J. Diaz. 1998. Effects of periodic environmental hypoxia on predation of a tethered polychaete, *Glycera americana*: implications for trophic dynamics. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 172, 185-195.
- Paik, S.G. and S.G. Yun. 2000. Community structure of the macrobenthos in Chinhae Bay, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 33(6), 572-580. (In Korean)
- Pearson, T.H. and R. Rosenberg. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 15, 229-311.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.*, 13, 131-144.
- Seoul National University. 1999. Marine Environmental Monitoring and Assessment Technology. In: *Methodologies for the Quality Assessment of Benthic Environment of Korean Coastal Waters*. Ministry of Environment. 654 p. (In Korean)
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1949. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana, IL. 117 p.
- Shin, H.C. and C.-H. Koh. 1990. Temporal and spatial variation of polychaete community in Kwangyang Bay, southern coast of Korea. *J. Oceanogr. Soc. Kor.*, 25(4), 205-216. (In Korean)
- Wu, R.S.S. 1982. Periodic defaunation and recovery in a subtropical epibenthic community, in relation to organic pollution. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 64, 253-269.
- Wu, R.S.S. and J. Richards. 1979. Report on mass mortality of benthos in Tolo harbour. Hong Kong Fish. Occas. Pap. No. 21, Agric. Fish. Dept., Hong Kong. 16 p.
- Yi, S.K., J.S. Hong, and J.H. Lee. 1982. A study on the subtidal benthic community in Ulsan Bay, Korea. *Bull. KORDI*, 4, 17-26.

Received Jun. 9, 2005

Accepted Oct. 25, 2005