

## 울산만과 온산만 저서동물군집의 공간분포

신현출\* · 윤성명<sup>1</sup> · 고철환<sup>2</sup>

여수대학교 해양학과, <sup>1</sup>조선대학교 생물교육과, <sup>2</sup>서울대학교 지구환경과학부

### Spatial Distribution of Benthic Macrofaunal Community in Ulsan Bay and Onsan Bay, Eastern Coast of Korea

HYUN CHOO SHIN\*, SEONG MYEOUNG YOON<sup>1</sup> AND CHUL-HWAN KOH<sup>2</sup>

Dept. of Oceanography, Yosu National University, Chonnam 550-749, Korea

<sup>1</sup>Dept. of Biology Education, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

<sup>2</sup>School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

1997년 11월에 울산만과 온산만의 저서동물군집을 파악하기 위한 연구가 실시되었다. 저서동물군집의 평균서식밀도는 535 개체/m<sup>2</sup>이었으며, 출현종수는 117종이었다. 이 중 다모류가 최우점 동물군이었으며, 출현종수는 총 63종, 서식밀도는 380 개체/m<sup>2</sup>이었다. 다모류를 비롯한 저서동물은 울산만 상단과 온산항에서 가장 서식밀도가 높았으며, 두만의 사이 해역에서 낮았다. 저서동물중 주요 우점종은 *Cirratulus cirratulus*(22.7%), *Tharyx* sp.(16.6%), *Ruditapes philippinarum*(16.1%), *Lumbrineris longifolia*(10.3%) 등이다. 본 조사해역의 가장 큰 특징은 우점종들의 특정 분포해역이 뚜렷이 차이가 난다는 것으로, 울산만에서는 *Tharyx* sp., *R. philippinarum*, *Grandidierella* sp.1가, 온산만에서는 *L. longifolia*, *Euchone* sp가, 그리고 두 만에 공통적으로 *C. cirratulus*, *Cirriformia tentaculata*가 우점하고 있다. 집괴분석 결과, 조사해역은 크게 4개의 해역-울산만 북단, 울산만 중앙역, 울산만과 온산만 사이 외해역, 온산만-으로 대별되었다. 울산만 북단 정점군은 저서동물의 출현종수는 적으나, 서식밀도가 가장 높은 지역으로, *C. cirratulus*, *R. philippinarum*, *Tharyx* sp가 주요 우점종이다. 울산만 중앙역 정점군은 갑각류 *Grandidierella* sp1가 특징적으로 출현하고 있다. 울산만과 온산만 사이 외해역은 저서동물의 서식밀도가 매우 빈약한 해역이나, 출현종수는 매우 많다. 온산만 정점군은 출현종수도 많으며, 서식밀도도 매우 높다. 대표적 종은 *L. longifolia*와 *Euchone* sp.이다.

This study was conducted to investigate the macrobenthic community in Ulsan Bay and Onsan Bay, in November of 1997. The density of benthic animals was 535 ind./m<sup>2</sup>, and the number of species was 117. Polychaeta was the most dominant faunal group, comprising a total of 63 species, and its density was 380 ind./m<sup>2</sup>. The most dominant benthic macrofauna was *Cirratulus cirratulus* (2.7%), and followed by *Tharyx* sp. (16.6%), *Ruditapes philippinarum* (16.1%), *Lumbrineris longifolia* (10.3%) and so on. The dominant species occupied their distinct unique distribution area. *Tharyx* sp., *R. philippinarum* and *Grandidierella* sp1 occurred mainly in Ulsan Bay, *L. longifolia* and *Euchone* sp. in Onsan Bay, and *C. cirratulus* and *Cirriformia tentaculata* in both bays. By cluster analysis, study area was divided into 4 station groups: Northern Ulsan Bay (AI), the middle area of Ulsan Bay (BI), offsea area between Ulsan Bay and Onsan Bay (BII), and Onsan Bay (C). Northern Ulsan Bay was characterized by low species number and high density. The dominant species were *C. cirratulus*, *R. philippinarum* and *Tharyx* sp. The middle area of Ulsan Bay was by low species number and density, and its characteristic species was *Grandidierella* sp.1. The offsea area between Ulsan and Onsan Bay was by high species number and low density. Onsan Bay was by high species number and high density, and its important species were *L. longifolia* and *Euchone* sp.

## 서 론

한국 동해안에 위치하는 울산만은 북으로는 태화강으로부터 육수가 유입되며, 동남방향으로 향하여 동해로 열려 있는 만이다. 이 울산만은 남쪽의 온산만과 함께 1970년대 남동임해공업단지로서 조

성되면서, 비철금속공단과 석유화학공단이 대규모로 들어서 가동중에 있다. 이러한 공단으로부터의 오염물질 발생은 심각한 상황 이어서 이미 온산공단 주변 마을은 심각한 대기오염으로 황폐화 되어 주민들의 이주가 시작되고 있다. 더불어 태화강으로부터 유입되는 울산광역시 생활하수 역시 그 양이 막대하여 인근 해양의 오염을 가중시키고 있다. 따라서 해양의 중금속 집적 및 서식생물의 중금속 농축 현상이 한국의 연안에서 가장 심각한 것으로

\*Corresponding author: shinhc@yosu.ac.kr

여러 차례 보고되어 왔다(Ministry of Environment, 1999). 그런데 울산, 온산공단의 가동으로 인한 해저 퇴적물내 산업오염물질의 축적, 인근 지역에서 유입되는 생활하수 및 농축산폐수에 의한 오염물질의 축적과 저서동물군집을 연계시켜서 제반 오염환경에 대한 과학적인 조사는 이루어지지 않고 있었다. 특히 본 해역을 대상으로 한 저서동물군집의 연구는 Yi *et al.*(1982)에 불과한 실정이다.

본 조사는 울산만과 온산만의 저서환경 오염실태를 파악하고 나아가서는 이러한 오염으로 인한 환경의 교란이 저서동물군집에 미친 영향을 파악하고자 하는 연구의 일환으로 수행되었다. 먼저 일차적으로 울산만과 온산만의 저서동물군집의 종조성과 주요 우점종들의 분포 상황을 통하여 저서생태계의 단면을 살펴보고자 한다.

**재료 및 방법**

1997년 11월에 울산만과 온산만 일대에 총 63개의 정점을 선정하여 저서동물을 채집하였다(Fig. 1). 조사정점의 평균입도( $\phi$ )는  $8.3 \pm 1.3(4.3 \sim 9.7)$ 이며, 모래함량(%)은 평균 13.1%(0.8~64.8), 점토함량(%)은 평균 55.0%(18.4~72.6)이었다(Ministry of Environment, 1999). 퇴적물 조성은 일부 정점에서 사질 함량이 50% 이상을 차지하고 있으나, 주로 silt와 clay의 함량이 탁월한 편이며, silt 성분보다는 clay 성분의 함량이 높은 편이다. 주요 퇴적상은 mud, sand mud 이다(Fig. 2)

퇴적물은 개량형 van Veen grab(채취면적: 0.1 m<sup>2</sup>)을 사용하여 각 정점에서 2회씩 채취하였다. 인양된 퇴적물은 선상에서 망목 크기 1.0 mm인 체를 사용하여 걸렀으며, 체에 걸린 동물은 10%

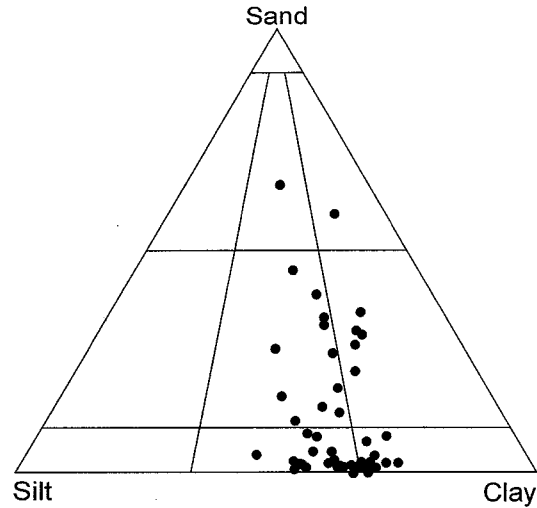


Fig. 2. Fork's triangular diagram of sediment composition redrawn from Ministry of Environment (1999).

중성 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 채집된 저서동물은 동물군별로 선별한 후, 종 수준까지 동정하고 이후 이를 계수하였다.

저서동물 군집의 특성을 설명하는 생태지수는 종다양성지수(H'), 종풍부도지수(R), 종균등도지수(J), 우점도지수(D)를 정점별로 계산하였다. 각 지수의 계산식은 다음과 같다.

종다양성지수:  $H' = -\sum(P_i) \times n(P_i)$  (Shannon and Weaver, 1963)  
 종풍부도지수:  $R = (S-1)/\ln(N)$  (Magalef, 1958)  
 종균등도지수:  $J = H'/\ln(S)$  (Pielou, 1975)  
 우점도지수:  $D = (n_1 + n_2)/N$  (McNaughton, 1968)

여기서 P<sub>i</sub>는 i번째 종이 전체 개체수에서 차지하는 비율, S는 총 출현종수, N은 총출현개체수, n<sub>1</sub>은 첫번째 우점종의 개체수, n<sub>2</sub>는 두번째 우점종의 개체수를 의미한다.

종조성의 유사도에 기초하여 조사지역을 구분하기 위하여 집괴 분석(cluster analysis)을 실시하였다. 이 때 사용한 자료는 전 출현종을 대상으로 하였고, 정점간 유사도지수는 chord distance를 사용하였으며, 정점간 결합은 가중평균결합법(WPGMA)을 사용하였다.

**결 과**

1997년 11월에 울산만과 온산만에서 채집된 저서동물의 평균서식밀도는 535 개체/m<sup>2</sup>이며, 총출현종수는 117종이었다(Table 1). 이 중 다모류가 최우점 동물군으로서, 총출현종수는 63종, 평균서식밀도는 380 개체/m<sup>2</sup>(71.0%)이었다. 다음 우점 동물군은 연체동물로서 총 13종이 출현하였으며, 서식밀도는 100 개체/m<sup>2</sup> 이었다. 다음은 절지동물(갑각류), 유형동물, 자포동물의 순이었다. 저서동물군집의 생태지수를 살펴보면, 종다양성지수는 평균  $1.53 \pm 0.59$ 이며 최대 2.71에서 최소 0.50의 범위이었다. 종풍부도지수는  $1.72 \pm 0.90(0.31 \sim 4.09)$ , 종균등도지수는  $0.69 \pm 0.20(0.27 \sim 1.00)$ , 우점도지수는  $0.67 \pm 0.21(0.27 \sim 1.00)$  이었다.

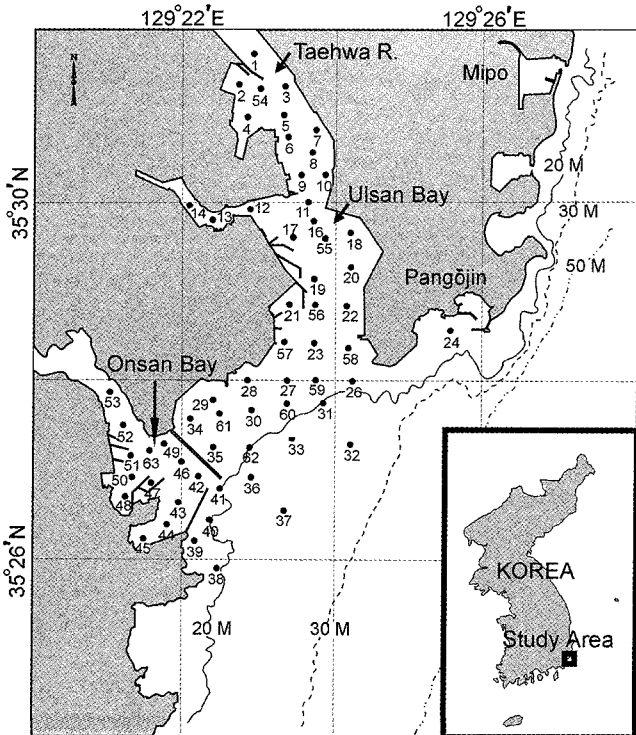


Fig. 1. The sampling stations and bathymetry in Ulsan Bay and Onsan Bay.

**Table 1.** Overview of benthic community in Ulsan and Onsan Bay, November of 1997. Densities are expressed as ind./m<sup>2</sup>. The values in parentheses are species number.

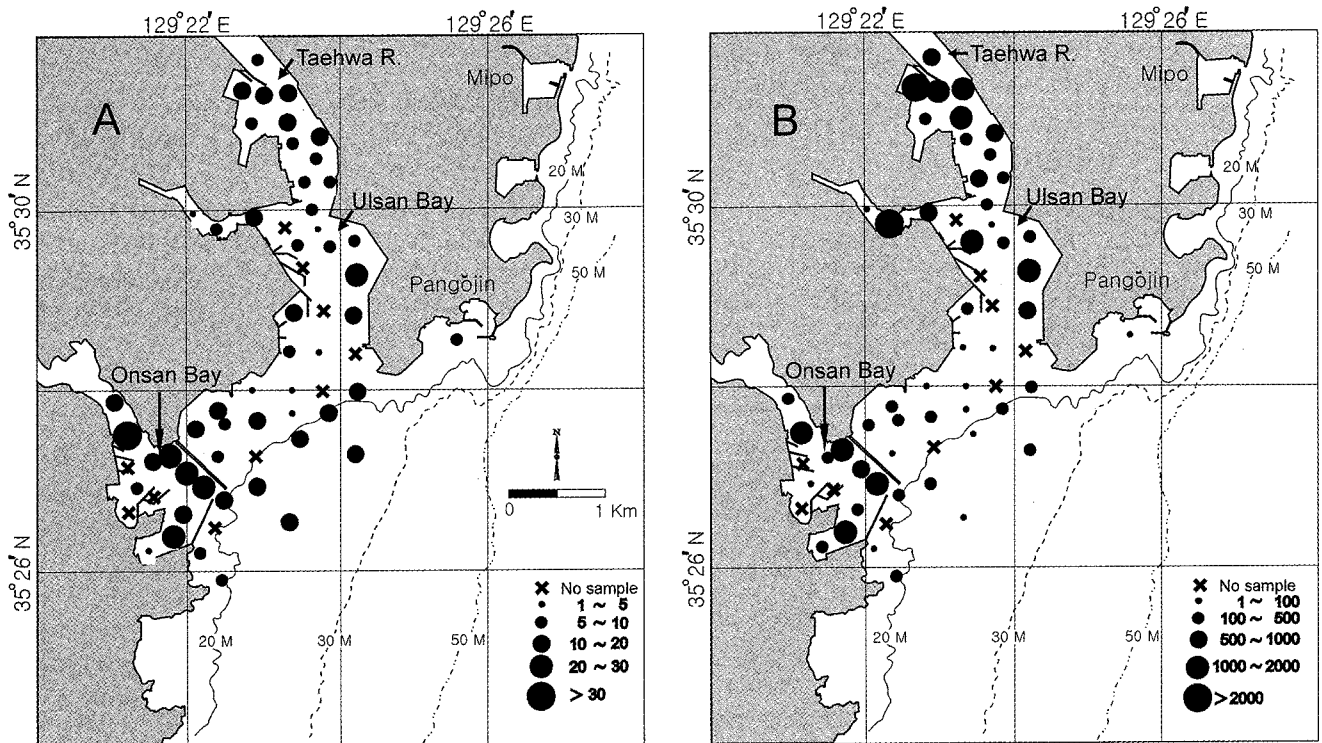
Ecological Parameter	Mean
No. Station	63
Mean Density	535
Species Number	117
Mean Species Number (spp./0.2 m <sup>2</sup> )	9.0
Ecological Indices	
Diversity	1.53 ± 0.59
Richness	1.72 ± 0.90
Evenness	0.69 ± 0.20
Dominance	0.67 ± 0.21
Benthic Faunal Taxa	
Polychaeta	380 (63)
Mollusca	100 (13)
Crustacea	49 (22)
Nemertina	3 ( 5)
Anthozoa	2 ( 6)
Others	1 ( 8)

지역별 저서동물의 분포를 살펴보면 Fig. 3과 같다. 본 조사지역에서의 저서동물의 출현종수 및 서식밀도가 정점별, 지역별로 큰 차이를 보이고 있는 것이 매우 특징적이다. 저서동물의 출현종수가 많은 정점은 온산항 내에 위치하고 있다. 즉 정점 42, 46, 49, 52에서 각각 26종, 23종, 21종, 32종으로 20종 이상이 출현하였다. 반면에 저서동물이 전혀 채집되지 않은 정점도 11개나 되었는

데, 주로 온산항 내와 울산만 남동쪽 입구역에 위치하고 있다. 저서동물의 서식밀도 역시 큰 편차를 보이고 있다. 정점별로 서식밀도가 1,000 개체/m<sup>2</sup> 이상인 정점은 주로 온산항과 울산만 상단(태화강 하류역)에 위치하고 있다. 특히 장생포항에 위치한 정점 13의 경우 서식밀도가 6,960 개체/m<sup>2</sup>로 매우 높은 값을 보이고 있다. 대체로 울산만과 온산만 사이의 외해와 연결되어 있는 해역에서는 저서동물의 출현종수 및 서식밀도가 매우 낮았다.

이상으로 볼 때 본 조사지역인 울산만과 온산만의 저서동물상은 지역에 따라 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 태화강 하류역의 울산만의 경우 출현종수는 많지 않으나, 서식밀도는 상당히 높음을 알 수 있는데 이는 소수 종의 극우점을 의미한다. 온산항의 경우 인근 정점간에도 서식밀도와 출현종수의 출현 양상이 극한 차이를 보이고 있다. 즉 서식밀도와 출현종수가 매우 높은 정점이 있는 반면에 전혀 저서동물이 채집되지 않는 정점도 있다. 반면에 울산항과 온산항의 사이에 위치한 외해와 연결되는 해역의 경우 저서동물의 서식밀도와 출현종수가 상대적으로 높지 않게 나타났다.

1997년 11월 울산만과 온산만에서 채집된 저서동물중 개체수에 있어서 출현을 1% 이상의 우점종은 총 12종이며, 다모류에 속하는 종들이 9종으로 대부분을 차지하고, 그 외 이매패류 2종, 단각류 1종으로 나타났다(Table 2). 최우점종은 실타래갯지렁이인 *Cirratulus cirratulus*로서 전체 저서동물중 22.7%를 차지하였으며, 평균서식밀도는 121 개체/m<sup>2</sup> 이었다. 다음은 역시 실타래갯지렁이인 *Tharyx* sp.(89 개체/m<sup>2</sup>, 16.6%), 이매패류의 *Ruditapes philippinarum*(86 개체/m<sup>2</sup>, 16.1%), 송곳갯지렁이류인 *Lumbrineris longifolia*(55 개체/m<sup>2</sup>, 10.3%) 등이었다. 이 중 *Tharyx* sp.와 *L.*



**Fig. 3.** The spatial distribution of benthic macrofaunal species number (spp./0.2 m<sup>2</sup>) (A) and density (ind./m<sup>2</sup>) (B) in Ulsan and Onsan Bay.

**Table 2.** Dominant species above 1.0 percentage in individual number collected in Ulsan and Onsan Bay, November of 1997.

Species Name		Total	Percentage(%)	Density(ind./m <sup>2</sup> )	Frequency
<i>Cirratulus cirratus</i>	(P)	1527	22.7	121	15
<i>Tharyx</i> sp.	(P)	1116	16.6	89	28
<i>Ruditapes philippinarum</i>	(B)	1088	16.1	86	13
<i>Lumbrineris longifolia</i>	(P)	695	10.3	55	27
<i>Grandidierella</i> sp.1	(A)	514	7.6	41	21
<i>Cirriformia tentaculata</i>	(P)	380	5.6	30	25
<i>Euchone</i> sp.	(P)	215	3.2	17	12
<i>Theora fragilis</i>	(B)	113	1.7	9	14
<i>Glycera chirori</i>	(P)	92	1.4	7	26
<i>Magelona japonica</i>	(P)	86	1.3	7	15
<i>Paraprionospio pinnata</i>	(P)	85	1.3	7	23
<i>Heteromastus filiformis</i>	(P)	79	1.2	6	17

\*P: Polychaeta, B: Bivalvia, A: Amphipoda

*longifolia*는 유기물 오염이 심화된 곳에 대량으로 출현하는 유기물오염 지시종 혹은 생태학적 천이과정 중의 기회종으로 널리 알려진 종이다. 이 종들이 울산만과 온산만에서 집중적으로 출현함은 이미 본 해역이 유기물 오염이 심화되어 해양환경이 교란되고 있음을 의미한다.

상위 7개 우점종들의 지역별 분포 현황을 살펴보면 Fig. 4~6과 같다. 본 조사해역의 가장 큰 특징은 우점종들의 특정 분포 해역이 뚜렷이 차이가 난다는 것이다. 최우점종인 *Cirratulus cirratus*와 *Tharyx* sp., *Cirriformia tentaculata*는 울산만과 온산만에서 모두 출현하고 있다(Fig. 3). 특이한 것은 이 3종 모두 실타래갯지렁이과(Family Cirratulidae)에 속한다는 것이다. 그리고 이매패류인 *Ruditapes philippinarum*과 단각류인 *Grandidierella* sp.1은 울산만에서만 집중적으로 출현하고(Fig. 4), *Lumbrineris longifolia*와 *Euchone* sp.는 온산만에서 집중적으로 출현하고 있다(Fig. 5).

최우점종인 *C. cirratus*의 경우 온산항과 울산만 중앙역에서만 우점 출현하고 있다. 특히 장생포항 앞의 정점 13에서 5,370 개체/m<sup>2</sup>으로 극우점 현상을 보였다. 울산만 상단의 태화강 하류역과 온산만과의 사이 외해역에서는 전혀 출현하지 않았다. 두 번째 우점종인 *Tharyx* sp.의 경우 태화강 하류역인 울산만 상부 해역에서 집중 출현하였으며, 소량 온산만에서 출현하고 있다. 3번째 우점종인 *R. philippinarum*의 경우 태화강 하류인 울산만 상단에서 집중 출현하였는데, *Tharyx* sp.의 집중 출현 지역과 일치하고 있다. 4번째 우점종인 *L. longifolia*의 경우 온산만에서 주로 출현하였으며, 울산만과 온산만의 사이의 외해역에서도 소량 출현하였으며, 울산만 상단에서는 전혀 출현하지 않고 있다. 5번째 우점종인 단각류 *Grandidierella* sp.1의 경우 울산만의 대부분 정점에서 출현하고 있으나, 중앙역에서 높은 서식밀도를 보였다. 6번째 우점종인 *C. tentaculata*의 경우 울산만과 온산만에서 고르게 출현하고, 두 만 사이의 외해역에서는 전혀 출현하지 않았다. 7번째 우점종인 *Euchone* sp.의 경우 온산만에서만 집중 출현하고, 울산만에서 소량 채집되었다.

전체저서동물을 대상으로 집괴분석을 실시한 결과 본 조사해역은 크게 4개의 정점군으로 구분되었다. 이 정점군의 분포를 도시하면 Fig. 7과 같다. 정점군 A는 태화강 하류의 울산만 상단과 장

생포 앞 수로에 위치하는 정점들과 온산만 상단의 1개 정점으로 구성되었다. 정점군 BI는 울산만 하부에 위치하는 정점들로 이루어져 있으며, 정점군 BII는 울산만과 온산만 사이의 외해에 열려 있는 해역에 위치하는 정점군들로 구성되었다. 정점군 C는 온산항내의 정점들로 이루어져 있다.

각 정점군의 생태학적 특징을 살펴보면 Table 3과 같다.

정점군 A (13개 정점) - *Cirratulus-Ruditapes-Tharyx* assemblage  
출현종수는 46종, 정점당 출현종수는 10.8종, 서식밀도는 1,556 개체/m<sup>2</sup>이다. 4개의 정점군중 가장 저서동물의 서식밀도가 높은 정점군이다. 이 중 다모류의 서식밀도가 가장 높아 1,057 개체/m<sup>2</sup>이었으며, 다모류의 출현종수는 28종이었다. 종다양성지수는 0.83으로 매우 낮으며, 우점도지수는 0.90으로 매우 높다. 즉 이 정점군에서는 1~2종이 극우점하고 있음을 알 수 있다. 대표 종은 *Cirratulus cirratus*, *Ruditapes philippinarum*, *Tharyx* sp. 등이다. 그 외 *Cirriformia tentaculata*가 우점하고 있다.

정점군 BI (8개 정점) - *Grandidierella* assemblage

총출현종수는 33종, 정점당 출현종수는 6.9종으로 출현종이 다양하지 못하다. 서식밀도 역시 348 개체/m<sup>2</sup>로 낮은 편이다. 갑각류가 280 개체/m<sup>2</sup>으로 가장 중요한 동물군이다. 종다양성지수는 1.05로 낮은 편이며, 우점도지수는 0.82로 비교적 높다. 이는 단각류에 속하는 *Grandidierella* spp.가 극우점하고 있는 정점들이 많기 때문이다.

정점군 BII(22개 정점) - *Syllis-Magelona* assemblage

총출현종수는 69종으로 4개 정점군중 가장 많으나, 정점당 출현종수는 8.9종으로 낮은 편이다. 서식밀도는 116 개체/m<sup>2</sup>로 가장 낮다. 다모류가 가장 중요한 동물군이다. 종다양성지수는 1.58로 비교적 높은 편이며, 우점도지수는 0.61로 낮다. 이 정점군은 울산만과 온산만의 사이에 위치하며, 외해와 연결되는 해역으로서 전체적으로는 출현종이 많으나, 특징적인 현상이 나타나지는 않았다. 다른 정점군에 비해 우점종의 서식밀도가 현저히 떨어지나 대체로 *Syllis elongata*와 *Magelona japonica*가 우점하고 있다.

정점군 C(8개 정점) - *Lumbrineris-Euchone* assemblage

총출현종수는 64종으로 매우 높으며, 정점당 출현종수 역시 21.9종으로 가장 많은 종들이 출현하고 있다. 평균서식밀도 역시 1,016

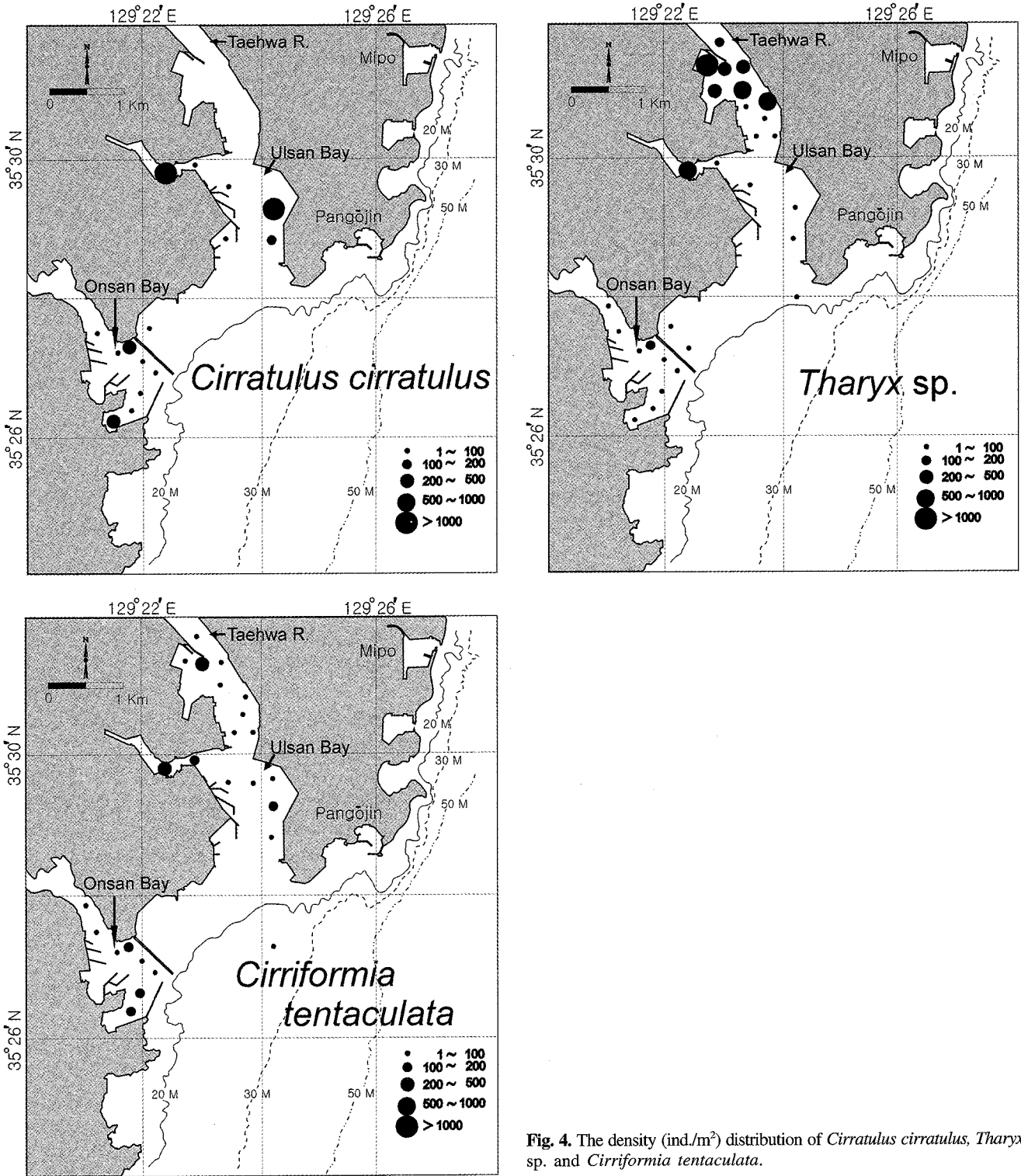


Fig. 4. The density (ind./m<sup>2</sup>) distribution of *Cirratulus cirratulus*, *Tharyx sp.* and *Cirriformia tentaculata*.

개체/m<sup>2</sup>으로 매우 높다. 다모류가 969 개체/m<sup>2</sup>으로 우점하는 동물군이며, 종 수도 38종으로 가장 많다. 다양성지수는 1.89로 가장 높으며, 우점도지수는 0.60으로 가장 낮다. 이 정점군의 주요 종은 *Lumbrineris longifolia*이며, 다음은 *Euchone sp.*이다. 그 외 *Cirratulus cirratulus*, *Tharyx sp.*가 우점하고 있다.

### 토 의

저서동물의 서식밀도는 남해와 동해의 만들에 비해서 크게 낮았다. 즉, 서해의 경기만에서 출현한 368~550 개체/m<sup>2</sup>(Shin *et al.*, 1989, 1992b)보다는 높은 값이지만, 남해 진해만의 1,045~1,441

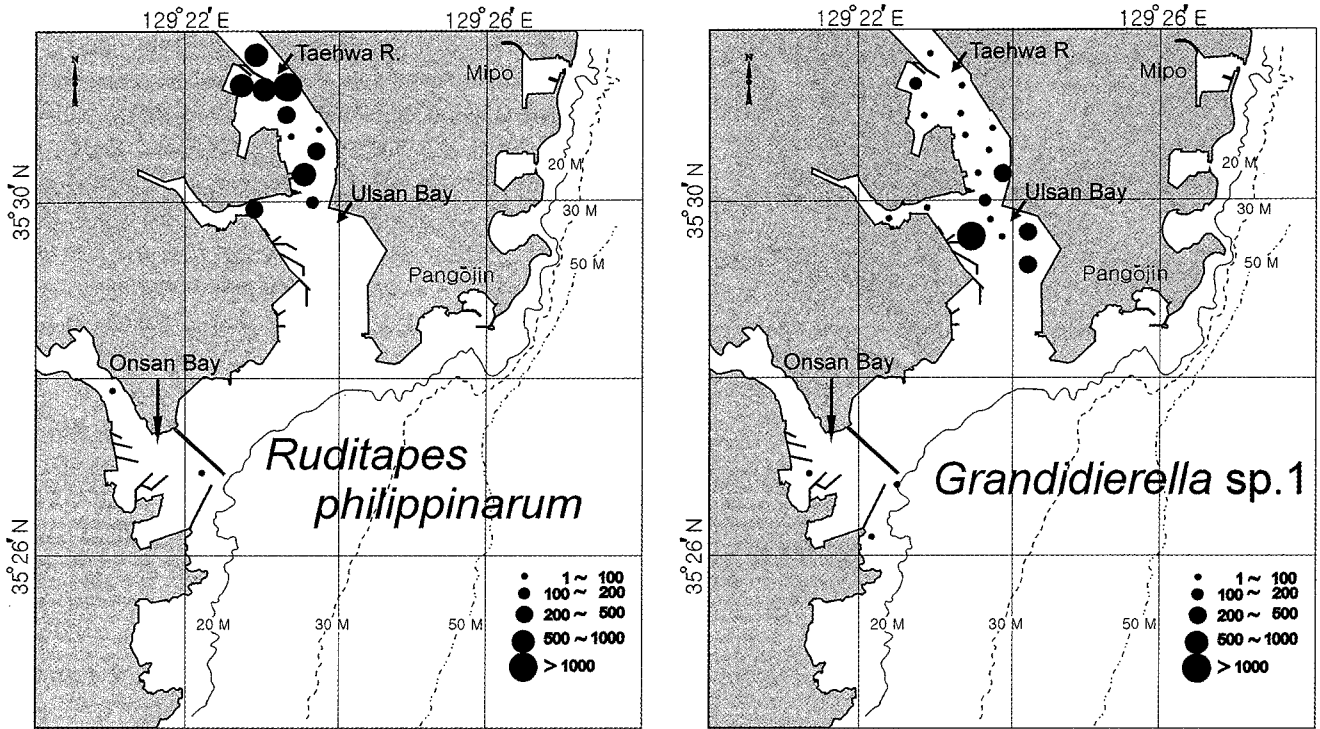


Fig. 5. The density (ind./m<sup>2</sup>) distribution of *Ruditapes philippinarum* and *Grandidierella sp.1*.

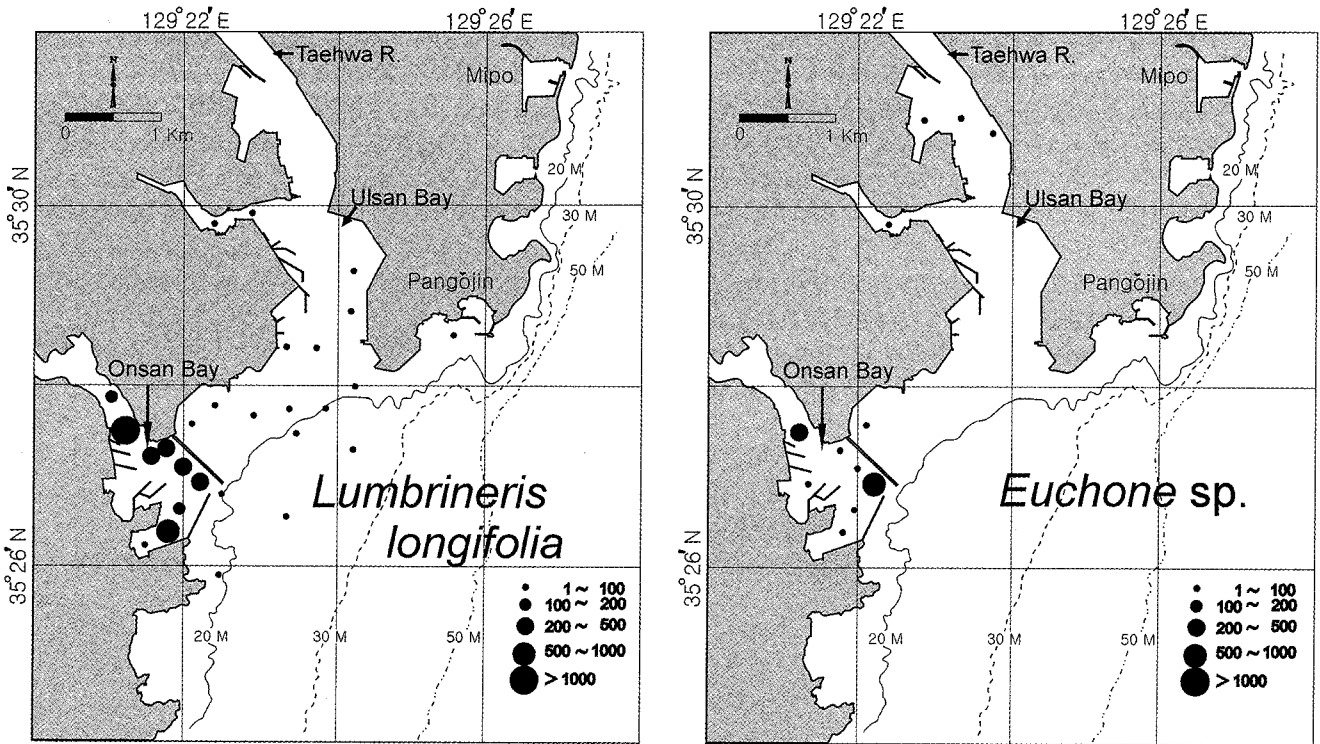


Fig. 6. The density (ind./m<sup>2</sup>) distribution of *Lumbrineris longifolia* and *Euchone sp.*



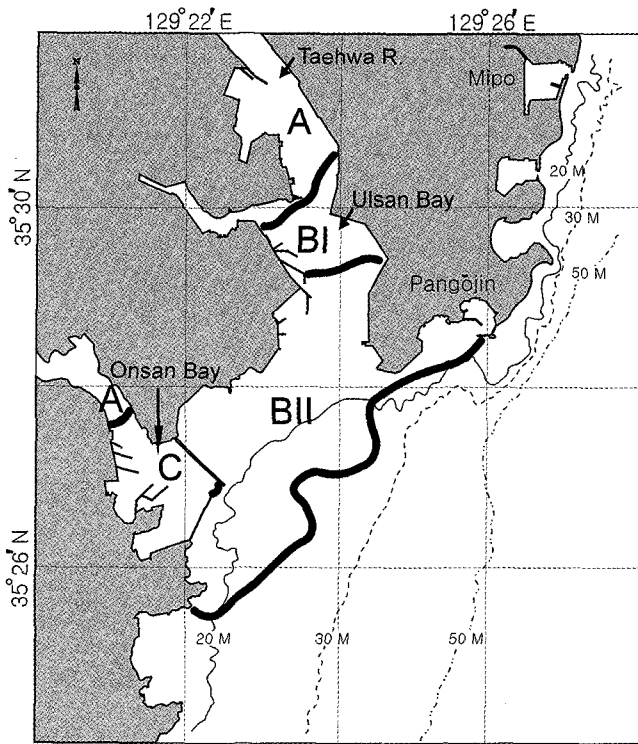


Fig. 7. The spatial distribution of station groups which was divided by cluster analysis, based on the species composition.

개체/m<sup>2</sup>(Hong, 1987; KORDI, 1993), 동해 영일만의 2,085 개체/m<sup>2</sup>(Shin *et al.*, 1992a)보다는 현저히 낮은 값이다.

전체 저서동물중 개체수에 있어서 다모류가 차지하는 비율은 71.0%로서 한국 연안의 다른 해역과 유사한 수준이다. 서해 경기만 북부해역에서의 63.2%(Shin *et al.*, 1989), 경기만 남부해역의 57.4%(Shin *et al.*, 1992b)보다는 높다. 그러나 영일만의 71.3%(Shin *et al.*, 1992a), 부산 연안의 90%(Lee, 1976), 울산만의 88%(Yi *et al.*, 1982)보다는 낮거나 거의 유사한 수준이다. 다모류의 서식밀도는 한국의 다른 연안역에 비해 상당히 낮은 편이다. 남해의 광양만의 경우 342~520 개체/m<sup>2</sup>이었으며(Choi and Koh, 1984; Jung *et al.*, 1997; Shin and Koh, 1990), 진해만은 825 개체/m<sup>2</sup>(KORDI, 1993), 동해의 영일만은 1,485 개체/m<sup>2</sup>(Shin *et al.*, 1992a)인 것과 비교해 보면 매우 낮은 값을 알 수 있다. 다모류의 출현종수 역시 다른 연안역의 연구 결과에 비해 낮은 값을 보이고 있다. 즉 남해의 광양만에서는 70~79종이었으며(Choi and Koh, 1984; Jung *et al.*, 1997; Shin and Koh, 1990), 여자만은 72종(Lim *et al.*, 1991), 진해만은 88종(KORDI, 1993), 동해의 영일만 72종(Shin *et al.*, 1992a)보다는 약간 낮은 편이지만, 서해 경기만의 124종(Shin *et al.*, 1992b)과 비교하면 매우 낮은 값이다.

울산만의 저서동물군집은 Yi *et al.*(1982)에 의해 조사된 적이 있다. Yi *et al.*(1982)는 1980년에서 1981년까지 4계절에 걸쳐 조사하였는데, 총 127종의 저서동물이 채집되었으며, 다모류는 67종이었다. 본 조사에서는 117종(다모류 63종)으로 과거와 큰 차이가 없었다(Table 4). 그러나 평균서식밀도는 953 개체/m<sup>2</sup>으로 본 조사 결과보다 상당히 높았다. Yi *et al.*(1982)에서의 우점종은

*Cirratulus cirratulus*, *Lumbrineris longifolia*, *Magelona japonica*, *Tharyx* sp. 등이었으며, 본 조사와 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나, 본 조사에서는 이때패류인 *Ruditapes philippinarum*, 단각류인 *Grandidierella* sp.1이 주요종으로 나타난 점이 차이가 있었다.

각 우점종들의 분포 형태 역시 과거와 큰 차이가 없었다. Yi *et al.*(1982)에서 주요종이었던 실타래갯지렁이류인 *C. cirratulus*, *C. tentaculata*, *Tharyx* sp.는 태화강 하류에서만 집중적으로 출현하였는데, 이는 본 조사에서도 마찬가지로 나타났다. 반면에 *L. longifolia*의 경우 Yi *et al.*(1982)에 의하면 대체로 전 조사 정점에서 모두 출현하되, 태화강 하류 지역에서 집중적으로 출현하였다. 그러나 본 조사에서는 태화강 하류에서는 거의 출현하지 않고, 오히려 온산만 일대에서 집중적으로 출현하고 있는 점이 차이가 있었다. 이는 과거 1980년 당시에는 온산항의 개발이 진행되지 않아 외해에 노출된 환경이었으나, 현재는 방파제 공사가 완료되어 온산항내의 해수가 정체되어 세립질 퇴적물이 퇴적되고 따라서 퇴적물내 유기물오염이 상당히 진행되었기 때문인 것으로 보인다. 이는 과거 온산만 일대에서 비교적 청정해역에 출현하는 것으로 알려진 *Magelona japonica*, *Sternaspis scutata*가 최우점종이었다는 사실에서도 알 수 있다.

본 조사해역에서 우점 출현하는 종들은(Table 2) 국내, 혹은 국외에서 유기물이나, 중금속으로 오염된 해역에 집중 출현하는 기회주의종들로서 hypoxia 조건이나 그 외의 환경 악화로 인하여 무생물 혹은 빈생물상태에서 환경의 회복에 따라 가장 먼저 재군서(recolonization)하는 대표적인 종들이다. 흥미로운 것은 7개 상위 우점종중 다모류 *Cirratulus cirratulus*, *Cirriformia tentaculata*, *Euchone* sp., 단각류 *Grandidierella* spp 등은 국내의 다른 연안역에서는 우점종으로 잘 출현하지 않았던 종인데, 본 조사해역에서 주요 종으로 나타났다는 것이다. 각 주요 종들의 환경 오염에 대한 반응 특성은 다음과 같다.

*Cirratulus cirratulus*는 TBT 내성 실험에서 이때패류와는 달리 거의 영향을 받지 않았으며(Beaumont *et al.*, 1989), 퇴적물 내 중금속농도(Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Mn)가 높고 무산소성 환경이 일정 기간 경과한 후 회복되면서 최초로 군서하는 대표적인 기회주의종중 하나로 보고되기도 하였다(Diaz-Castaneda *et al.*, 1989).

*Cirriformia tentaculata*는 일본에서도 여름의 저산소농도 퇴적물에 우점 출현하는 종으로 보고되고 있다(Tamaki, 1982). 이 종은 유럽에서 hypoxia 상태에서의 생리적 변화에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔는데, hypoxia 조건이 형성되면 체내에 산소를 저장하고, 혐기성 대사를 수행하며, 동시에 대사율을 낮춤으로서 이 시기를 견디며, 체내에 alanine의 농도가 증가하고, 더불어 혈액의 pH가 현저히 낮아지는 것으로 조사되었다(Dales and Warren, 1980; Warren, 1981).

*Lumbrineris longifolia*는 한국 연안에서 유기물오염이 심화된 환경의 저층퇴적물에 우점 출현하는 대표적 종이다. 즉 남해안의 광양만(Choi and Koh, 1984; Shin and Koh, 1990, Jung, 1998)과, 진해만(Lim and Hong, 1997, Lim *et al.*, 1992)에서 대표적 우점종으로 출현하였다.

실타래갯지렁이류인 *Tharyx* sp. 역시 전세계적으로 오염된 해역에 집중적으로 출현하는 종으로 알려져 있으며(Hall and Fried, 1998; Nakao *et al.*, 1989; Raman and Ganapati, 1983), 국내에서

**Table 3.** Comparison of ecological parameters of benthic assemblages between station groups. The individual numbers of dominant species are expressed as mean density (ind.m<sup>2</sup>) at each station group. The values in parentheses are total species number collected at each assemblage.

Parameters	Station Group	A	BI	BII	C
Number of Station		13	8	22	8
Total species number		46	33	69	64
Mean species number (spp./0.2 m <sup>2</sup> )		10.8	6.9	8.9	21.9
Mean density (ind.m <sup>-2</sup> )		1,556	348	116	1,016
<b>Benthic Faunal Taxa</b>					
Polychaeta		1,057 (28)	38 (19)	99 (44)	969 (38)
Mollusca		442 ( 7)	29 ( 5)	7 ( 4)	21 ( 8)
Crustacea		53 ( 4)	280 ( 7)	5 (12)	9 ( 6)
Others		4 ( 4)	1 ( 2)	5 ( 9)	17 (12)
<b>Ecological Indices</b>					
Diversity (H')		0.83 ± 0.24	1.05 ± 1.40	1.58 ± 0.56	1.89 ± 0.20
Richness (R)		1.23 ± 0.49	1.40 ± 0.59	2.23 ± 0.90	3.04 ± 0.40
Evenness (J)		0.50 ± 0.20	0.84 ± 0.11	0.84 ± 0.14	0.68 ± 0.09
Dominance (D)		0.90 ± 0.07	0.82 ± 0.15	0.61 ± 0.22	0.60 ± 0.09
<b>Dominant species</b>					
<i>Aricidea</i> sp.		-	-	-	13
<i>Cirratulus cirratulus</i>		515	4	12	82
<i>Cirriformia tentaculata</i>		97	7	-	72
<i>Euchone</i> sp.		-	-	-	127
<i>Glycera chirori</i>		-	-	4	39
<i>Grandidierella</i> sp.1		47	243	-	-
<i>Grandidierella</i> sp.2		-	30	-	-
<i>Heteromastus filiformis</i>		-	-	8	28
<i>Lumbrineris longifolia</i>		-	-	8	395
<i>Magelona japonica</i>		-	-	15	-
<i>Notomastus</i> sp.		-	-	-	16
Orbiniidae indet.		-	4	-	-
<i>Paranthura japonica</i>		-	5	-	-
<i>Paraprionospio pinnata</i>		-	-	9	23
<i>Praxillella affinis</i>		-	-	-	41
<i>Prionospio</i> sp.		-	-	3	-
<i>Ruditapes philippinarum</i>		404	23	-	-
<i>Sigambra tentaculata</i>		18	-	3	-
<i>Sternaspis scutata</i>		-	-	7	-
<i>Syllis elongata</i>		-	-	55	-
<i>Tharyx</i> sp.		382	6	-	65

도 경기만(Shin *et al.*, 1992b)과 광양만(Jung, 1998), 가막만(Shin, 1995)에서 우점 출현하는 것으로 보고되었다. 특히 Gibbs *et al.*(1983)은 *Tharyx maroini*의 체내에 As가 2,000 µg/g-dry wt. 이상 농축되는 현상을 보고하였으며, 주위 해수보다는 퇴적물을 통한 농축이 심하다고 하였다.

본 조사해역에서 우점하는 단각류인 *Grandidierella* spp.는 국내의 다른 연안역에서 우점종으로 보고된 적이 거의 없다. 그러나 이 종류는 외국에서는 기수역에서 우점하는 종으로 알려져 있다. 이 종류 역시 기회주의종으로 여름의 hypoxia 조건(< 0.1 mg-O<sub>2</sub>/l) 이후 재군서하는 종으로 보고되기도 하였다(Santos and Simon, 1980).

이매패류인 바지락(*Ruditapes philippinarum*)은 식용패류로서 널리 알려져 있는 종으로, 국내에서 이 종과 오염과의 관계에 대

하여 연구된 바가 거의 없다. 그런데, 포항 북항의 오염된 퇴적물 내에서(계란 썩는 냄새가 많이 나는 검은 색의 퇴적물) 1년생 개체들이 5,000 개체/m<sup>2</sup> 이상이 출현한 것으로 보아(1993년 관찰) 오염에 상당히 강한 것으로 추론된다. 본 조사해역에서도 태화강 하류의 오염된 퇴적물에서 집중적으로 출현하고 있음(Fig. 5)이 이를 의미하는 사실로 보인다.

이상의 결과로 볼 때, 울산만과 온산만의 유기물오염은 심각한 수준이며, 특히 태화강 하류 지역은 1980년에도 유기물 오염이 상당히 진행되어 있는 수준이었으며, 이는 현재에도 동일하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그런데 온산만 일대는 과거에는 비교적 오염이 진행되지 않았으나, 현재는 잠재적 유기물오염지종의 출현량이 높은 것으로 보아 이 일대의 오염이 심화되고 있는 것으로 보인다.



**Table 4.** Comparison of macrobenthic communities between Yi *et al.* (1982) and present study.

	Yi <i>et al.</i> (1982)	Present Study
Sampling time	1980-1981	1997
No. of Station	5	63
Total Species Number	127	117
Mean density (ind./m <sup>2</sup> )	953	535
Polychaete Species Number	67	63
Dominant Species		
<i>Cirratulus cirratulus</i> (P)	269	121
<i>Cirriformia tentaculata</i> (P)	33	30
<i>Euchone</i> sp. (P)	-	17
<i>Grandidierella</i> sp.1 (C)	-	41
<i>Lumbrineris longifolia</i> (P)	258	55
<i>Magelona japonica</i> (P)	81	7
<i>Ruditapes philippinarum</i> (B)	-	86
<i>Tharyx</i> sp. (P)	72	89
<i>Theora fragilis</i> (B)	32	9

\*P: Polychaeta, C: Crustacea, B: Bivalvia

## 사 사

본 연구는 과학기술처의 'G7 프로젝트: 저서환경 건강성 평가 기법 개발(code no. 97-9412)'의 연구비 지원에 의해 수행되었다. 그리고 본 논문을 성심 성의껏 살펴보고 문제점을 지적해 주신 두 분 심사위원께도 감사드립니다.

## 참고문헌

- Beaumont, A.R., P.B. Newman, D.K. Mills, M.J. Waldock, D. Millers and M.E. Waite, 1989. Sandy-substrate microcosm studies on tributyl tin (TBT) toxicity to marine organisms. Topics in Marine Biology, Proceedings of the 22nd European Marine Biology Symposium, pp. 737-743.
- Bray, J.R. and J.T. Curtis, 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, **27**: 325-349.
- 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*, **1**: 153-162.
- Dales, R.P. and L.M. Warren, 1980. Survival of hypoxic condition by the polychaete *Cirriformia tentaculata*. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **60**: 509-516.
- Diaz-Cataneda, V., A. Richard and S. Frontier, 1989. Preliminary results on colonization, recovery and succession in a polluted area of the southern North Sea (Dunkerque's Harbor, France). Topics in Marine Biology, Proceedings of the 22nd European Marine Biology Symposium, pp. 705-716.
- Gibbs, P.E., W.J. Langston, G.R. Burt and P.L. Pascoe, 1983. *Tharyx marioni* (Polychaeta): A remarkable accumulator of arsenic. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **63**: 313-325.
- Hall, J.A. and C.L.J. Fried, 1998. Colonisation patterns of adult macrobenthos in a polluted North Sea estuary. *Aquat. Sci.*, **31**: 333-340.
- Hong, J.S., 1987. Summer oxygen deficiency and benthic biomass in the Chinhae Bay system, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **22**: 246-257.
- Jung, R.H., 1998. Effect of the coastal zone development on the marine benthic ecosystem with special reference to the benthic polychaete community in Kwangyang Bay, Korea. PhD Thesis, Inha University, 306 pp.
- Jung, R.H., J.S. Hong and J.H. Lee, 1997. Spatial and seasonal patterns of polychaete community during the reclamation and dredging activities for the construction of the Pohang Steel Compony in Kwangyang Bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, **30**: 730-743.
- KORDI, 1993. An ecological study on the macrozoobenthos in the Chinhae Bay, Korea. KORDI Tech. Rep., BSPE 00314-536-3, 163 pp. (in Korean)
- Lance, G.N. and W.T. Williams, 1967. A general theory for classificatory sorting strategies. 1. Hierarchical systems. *Computer J.*, **9**: 373-380.
- Lee, J.H., 1976. A study on the benthic fauna along the Busan coast. *Publ. Inst. Nat. Fish. Univ., Pusan*, **9**: 49-70.
- 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.
- 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**: 31-46. (in Korean)
- Lim, H.S. and J.S. Hong, 1997. Ecology of the macrozoobenthos in Chinhae Bay. 2. Distribution pattern of the major dominant species. *J. Korean Fish. Soc.*, **30**: 161-174.
- Lim, H.S., J.W. Choi, J.G. Je and J.H. Lee, 1992. Distribution pattern of the macrozoobenthos at the farming ground in the western part of Chinhae Bay. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **2**: 11-132.
- Margalef, R., 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, **3**: 157-175.
- McNaughton, S.J., 1968. Structure and function in California grassland. *Ecology*, **49**: 962-972.
- Ministry of Environment, 1999. Marine environmental monitoring and assessment technology. Methodologies for the quality assessment of benthic environment of Korean coastal waters. 786 pp.
- Nakao, S., N. Azhar, M. Shazili and H.U. Salleh, 1989. Benthic communities in the areas under and around the fish-culture rafts at the Kuala Trengganu River estuary, Malaysia. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **40**: 154-158.
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theoret. Biol.*, **13**: 131-144.
- Raman, A.V. and P.N. Ganapati, 1983. Pollution effects on ecobiology of benthic polychaetes in Visakhapatnam Harbour (Bay of Bengal). *Mar. Pollut. Bull.*, **14**: 46-52.
- Sanders, H.L., 1968. Marine benthic diversity: a comparative study. *Am. Nat.*, **102**: 243-382.
- Santos, S.L. and J.L. Simon, 1980. Response of soft-bottom benthos to annual catastrophic disturbance in a south Florida estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **3**: 347-355.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1963. The mathematical theory of communication. Univ. Illinois, Press, Urbana, pp. 177.
- Shin, H.C., 1995. Benthic polychaetous community in Kamak Bay,

- southern coast of Korea. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, **30**: 250–261. (in Korean)
- 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**: 184–193.
- Shin, H.C., S.S. Choi and C.H. Koh, 1992a. Seasonal and spatial variation of polychaetous community in Youngil Bay, southeastern Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **27**: 46–54. (in Korean)
- Shin, H.C., S.G. Kang and C.H. Koh, 1992b. Benthic polychaete community in the southern area of Kyeonggi Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **27**: 164–172. (in Korean)
- Tamaki, K., 1982. Seasonal fluctuation of macrobenthic communities in the Osaka Bay, Japan. *Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab.*, No 14, 44–69.
- Warren, L.M., 1981. Respiratory adaptations to temporary hypoxia by the polychaete *Cirriformia tentaculata*. *Comp. Biochem. Physiol.*, **69**: 321–324.
- 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. (in Korean)

---

2001년 2월 16일 원고접수

2001년 6월 28일 수정본 채택

담당편집위원: 홍재상