

## 동해 기장군 주변해역에 서식하는 대형저서동물의 군집구조

김대익 · 서인수<sup>1,3,\*</sup> · 문창호<sup>2</sup> · 최병미<sup>3</sup> · 정래홍<sup>4</sup> · 손민호

해양생태기술연구소  
<sup>1</sup>부경대학교 해양과학공동연구소  
<sup>2</sup>부경대학교 해양학과  
<sup>3</sup>저서생물연구센터  
<sup>4</sup>국립수산과학원

## Community Structure of Macrobenthic Assemblages around Gijang Province, East Sea of Korea

DAE IK KIM, IN-SOO SEO<sup>1,3,\*</sup>, CHANG-HO MOON<sup>2</sup>, BYOUNG-MI CHOI<sup>3</sup>, RAE-HONG JUNG<sup>4</sup> AND MIN HO SON

Marine Eco-Technology Institute Co., Ltd. 485-1 Yongdang, Namgu, Busan 608-830, Korea

<sup>1</sup>Korea Inter-University Institute of Ocean Science, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

<sup>2</sup>Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

<sup>3</sup>Korea Benthos Research Center Co., Ltd. 38-2 Daeyeon-dong, Nam-gu, Busan 608-804, Korea

<sup>4</sup>National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

본 연구는 부산광역시 기장군 주변해역에 서식하는 대형저서동물의 출현 종수, 개체수, 생체량 및 군집구조를 파악하기 위하여 2006년 3월부터 11월까지 계절별로 현장조사를 실시하였다. 본 연구해역에서 출현한 대형저서동물은 총 157종/18 m<sup>2</sup>과 552개체/m<sup>2</sup>이었다. 출현 종수는 최소 62종/1.8 m<sup>2</sup>(동계와 춘계)에서 최대 122종/1.8 m<sup>2</sup>(추계)의 범위를 보였다. 반면 개체수는 6,540~17,920개체/18 m<sup>2</sup>의 범위에 춘계에 가장 적었고, 추계에 가장 많았다. 본 연구에서 출현한 대형저서동물의 개체수 자료를 기초로 군집분석(집괴분석과 다차원배열법)을 실시한 결과, 대형저서동물 군집은 크게 3개의 그룹으로 구성되었다. 그룹 1은 외해역에 위치한 수심 50 m 이상과 평균입도 6.2~7.1φ 범위의 정점 8~10, 12, 13, 17 및 18이, 그룹 2는 수심 40 m 내외의 평균입도 6.0~7.0φ를 나타내는 정점 5~7, 11과 14~16으로 구성되었다. 마지막으로 그룹 3은 수심 30 m 이하의 평균입도 3.5~6.9φ 범위를 보이는 정점 1~4가 포함되었다. 각 그룹별 우점종을 보면, 그룹 1에서는 긴자락송곳갯지렁이(*Lumbrineris longifolia*), 북방호두조개(*Ennucula tenuis*) 및 미동정 옆새우류(*Amphipoda* spp.)가, 그룹 2에서는 이매패류의 아기반투명조개(*Theora fragilis*)와 다모류의 작은시슴갯지렁이(*Ampharete arctica*) 등이 특징적이었다. 그룹 3은 다모류의 양손갯지렁이(*Magelona japonica*)와 오투기갯지렁이(*Sternaspis scutata*)의 밀도가 우세하였다. 이상의 결과로, 본 연구해역에 서식하는 대형저서동물의 군집구조와 시공간적 분포패턴은 해역의 수심과 퇴적상에 의해 영향을 받는 것으로 판단할 수 있었다.

This study investigated the community structure and spatio-temporal variation of macrobenthic assemblages around Gijang Province, East Sea of Korea. Macrobenthos collected seasonally using a modified van Veen grab sampler from March to November 2006. A total of 157 macrobenthic fauna were collected. The overall average macrobenthos density were 552 ind./m<sup>2</sup>. The species number of macrobenthos was in the range from 62 in winter and spring to 122 in autumn. On the other hand, abundance fluctuated between 6,540 (in spring) and 17,920 (in autumn) inds./18m<sup>2</sup>. Cluster analysis and non-metric multi-dimensional scaling (nMDS) were applied to assess the spatio-temporal fluctuation in the macrobenthic assemblages. Cluster analysis and nMDS ordination analysis based on the Bray-Curtis similarity identified 3 station groups. The group 1 (station 8~10, 12, 13, 17 and 18) was characterized by high abundance of the polychaete *Lumbrineris longifolia*, the bivalve *Ennucula tenuis* and the Amphipoda spp., with mean phi range from 6.2φ to 7.1φ (above 50m water depth). The group 2 (station 5~7, 11, 14~16) was numerically dominated by the polychaete *Ampharete arctica* and the bivalve *Theora fragilis* (mean phi: 6.0~7.0φ; within 40 m water depth). Finally group 3 (station 1~4) was characterized by high density of the polychaetes *Magelona japonica* and *Sternaspis scutata*, with mean phi range from 3.5 φ to 6.9φ (below 30 m water depth). In conclusion, the Macrobenthic community structure showed a distinct spatial and temporal trend, which seemed to be related to the water depth and sediment composition.

**Keywords:** Macrobenthos, Community structure, Gijang, East Sea of Korea

\*Corresponding author: seois@pknu.ac.kr

## 서론

해양생태계의 중요 생물 구성원인 대형저서동물은 생활사를 통해서 이동성이 적거나 또는 정주교착성의 행동특성을 나타낸다. 이러한 행동학적 특성이 급성 또는 만성적인 교란에 반응하여 능동적으로 피할 수 있는 제한요인으로 작용하기 때문에 대형저서동물 군집의 종 조성, 개체수, 생체량 및 구조변화는 저서생태계의 변화를 종합적으로 감시하고 평가하는데 유용한 요소로 고려되고 있다(Gray, 1981; Hartley, 1982; 최 등, 2003). 또한 대형저서동물 군집은 서식처 주변해역의 시공간적인 환경요인 변화가 상대적으로 큰 해역에서 생태계의 장기적인 모니터링 연구에 효과적인 생물로도 알려져 있다(Roberts *et al.*, 1998; Diaz *et al.*, 2003). 일반적으로 대형저서동물은 서식처의 물리화학적 및 퇴적학적 환경요인과 함께 종간 또는 종내의 생물학적 경쟁 등에 의해 군집구조를 달리한다(Whitlatch, 1977; Peterson, 1991; Byers, 2000). 특히 기질로서 작용하는 퇴적물은 대형저서동물의 시공간 분포와 군집구조를 결정짓는 중요한 환경요인일 뿐만 아니라, 그 자체가 다양한 대형저서동물군의 생활적응 방식, 먹이 종류와 양에 있어 지대한 영향을 미친다(Hentschel and Jumars, 1994; Snelgrove and Butman, 1994). 한편 우리나라 동해안은 서남해안과 비교하여 조석차가 2.0 m 이하인 소조차 해안으로 분류되고 있다. 따라서 서해안과 비교해 물리적인 환경 특성 상 조석보다는 파랑의 영향을 우세하게 받는다. 특히 해안선을 따라서 뚜렷한 수심 구배를 보이는 것이 특징적이다(백 등, 2007). 지금까지 우리나라 동해안에서 수행된 대형저서동물에 관한 연구는 강릉 연안해역(최 등, 2000), 후포 주변해역(백 등, 2007), 울진 연안해역(한국전력공사 전력연구원, 1991), 영일만(신 등, 1992), 온산만(송 등, 1995; 신 등, 2001), 울산만(Yi *et al.*, 1982; 신 등, 2001; 윤 등, 2009) 및 월성과 고리 원자력발전소 주변해역(손, 2006; 정, 2006; 신, 2007; 서 등, 2009) 등이다. 이상과 같이 동해안에서 대형저서동물을 대상으로 수행된 연구는 인위적인 간섭이 비교적 적은 강릉과 후포 주변해역을 제외하면, 공간적으로 인구가 밀집된 대도시의 내만해역과 발전소가 입지한 주변해역을 중심으로 이루어졌다. 반면 서식처의 기질로서 강릉 연안 및 후포 주변해역은 주로 모래가 우세하게 분포하는 해역으로 분류할 수 있으나, 다른 연구해역은 필히 대부분을 차지하는 환경으로 차이가 있다. 본 연구는 지금까지 비교적 대형저서동물 군집에 대한 연구가 미진하였던 동해안의 부산광역시 기장군 주변해역에 서식하는 대형저서동물의 생물지수(출현 종수, 개체수, 생체량)와 군집구조의 변화양상을 파악하고, 군집구조에 변화에 미치는 환경요인이 무엇인지를 제시하는데 목적이 있다.

## 재료 및 방법

### 현장조사

대형저서동물 채집을 위한 현장조사는 2006년 3월부터 11월까지 계절별로 총 18개의 정점을 대상으로 실시하였다(Fig. 1). 대형저서동물의 채집은 변형된 채니기(modified van Veen grab sampler)를 이용하여 각 정점 당 0.1 m<sup>2</sup>의 퇴적물을 채취하였다. 채취된 퇴적물은 현장에서 1.0 mm 망목의 체를 이용하여 대형저서동물을 분리하였고, 최종농도 10%의 중성 포르말린으로 고정하여 실험실

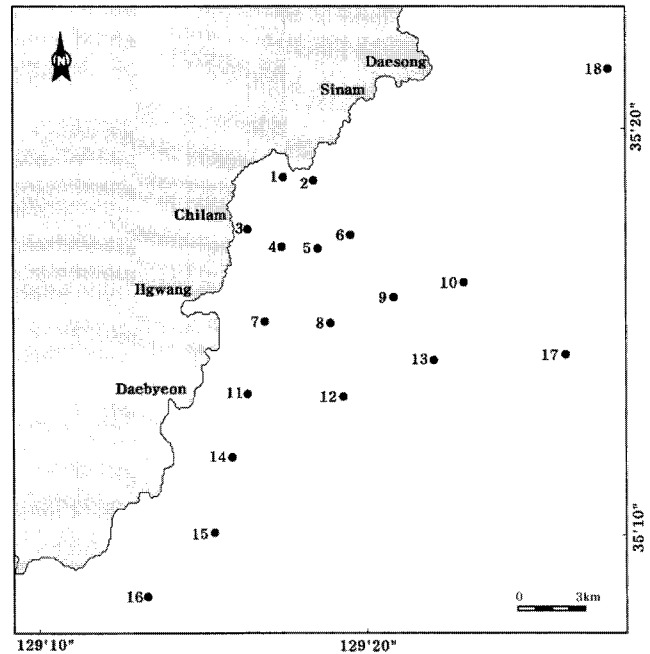


Fig. 1. Map showing the sampling stations around Gijang, East Coast of Korea.

로 운반하였다. 그 후 분류군별로 선별하여 동정을 실시한 후, 개체수를 계수하고, 생체량(습중량)을 측정하였다. 한편 우점종은 출현 개체수와 출현 빈도를 고려하여 선정하는 LeBris index(1988)를 이용하였고, 그 식은 아래와 같다.

$$D_{ij}' = F_{ij} \times D_{ij} \times 100 = \left( \frac{P_{ij}}{P_j} \times 100 \right) \times \left( \frac{\sum_{k=1}^v N_{ik} / P_j}{\sum_{k=1}^v N_k} \right) \times 100$$

$P_{ij}$  =  $j$ 번째 군집에서 종  $i$ 의 출현 횟수

$P_j$  =  $j$ 번째 군집의 전체 정점수

$N_{ik}$  =  $j$ 번째 군집에서  $k$ 번째 정점에 출현하는 종  $i$ 의 개체수

$N_k$  =  $k$ 번째 정점에서 전체 개체수

### 환경요인

조사해역의 수심 측정은 조사전에 장착된 측심계(Echo sounder)를 사용하여 현장에서 실측하였다. 또한 퇴적물의 입도분석은 동계와 하계에 한정하여 실시하였다. 분석에서 4φ 이하의 조립질 퇴적물은 로탭요동기(Ro-tap sieve shaker)를 사용하여 1φ 간격으로 입도별 중량백분율을 구하였고, 4φ 이상의 세립질 퇴적물은 자동입도측정기(Sedigraph 5100)를 사용하여 분석하였다. 퇴적물의 조직학적 특성치는 Folk and Ward(1957)에 의거하여 계산하였다.

### 군집분석

대형저서동물 군집의 구조를 파악하기 위하여 생태학적 제 지수로 종 풍부도 지수(R, Margalef 1958), 종 다양도 지수(H', Shannon and Weaver 1949)와 균등도 지수(J, Pielou 1977)를 구하였다. 또한 대형저서동물 군집의 시-공간적인 변화를 파악하기 위하여 PRIMER(Plymouth Routines Multivariate Ecological Research) computer program을 사용하여 Bray and Curtis(1957)의 유사도(similarity) 지수를 구하였고, 유사도 행렬에 기초하여 집괴분석

(cluster analysis)과 다차원배열법(non-metric multi-dimensional scaling; nMDS)을 수행하였다. 또한 대형저서동물의 생물지수(출현 종수, 개체수 및 생체량)와 중요 환경요인과의 상관관계를 파악하기 위하여 Pearson correlation coefficient를 구하였다.

### 결 과

#### 환경요인

연구해역의 수심은 최소 27.0 m(정점 1)에서 최대 100.0 m(정점 17)의 범위에 연안역에서 외해역으로 향할수록 증가하였다. 한편 퇴적물의 평균입도는 최소 평균 4.9φ(정점 2)에서 최대 6.9φ(정점 5 및 14)의 범위를 보였다. 전반적으로 정점 2와 3을 제외하면, 6.0φ 이상의 세립질 퇴적물로 구성된 공통점이 있었다. 따라서 퇴적물의 펄과 모래함량도 평균입도를 잘 반영하여 연안에 위치한 정점군(정점 1, 2와 3)에서 모래가 평균 21.0% 이상을 차지하여 상대적으로 많았고, 이 외의 정점에서는 펄이 85.0% 이상을 점유하였다. 반면 분급도는 최소 평균 1.7φ(정점 2)에서 최대 2.4φ(정점 1과 6)의 범위에 전반적으로 모든 정점에서 불량하거나(poorly sorted) 또는 매우 불량한(vert poorly sorted) 정도를 보였다(Table 1).

#### 출현 종수 및 개체수

본 연구해역에서 출현한 대형저서동물은 157종/18 m<sup>2</sup>과 39,730 개체(552개체/m<sup>2</sup>)이었다. 출현 종수는 환형동물문의 다모류가 101 종이 출현하여 전체의 64.3%를 점유하였고, 다음으로 연체동물문이 24종, 15.3%를 차지하였다. 이 밖에 절지동물문의 갑각류와 기타동물군은 각각 15종과 11종이 출현하여 9.6%와 7.0%를 나타낸 반면, 극피동물문은 6종, 3.8%로 점유율이 매우 낮았다. 조사 시기에 따른 출현 종수의 변화를 보면, 동계와 춘계에 공통적으로 62종/1.8 m<sup>2</sup>이 출현하여 가장 적었고, 추계에 122종/1.8 m<sup>2</sup>으로 가

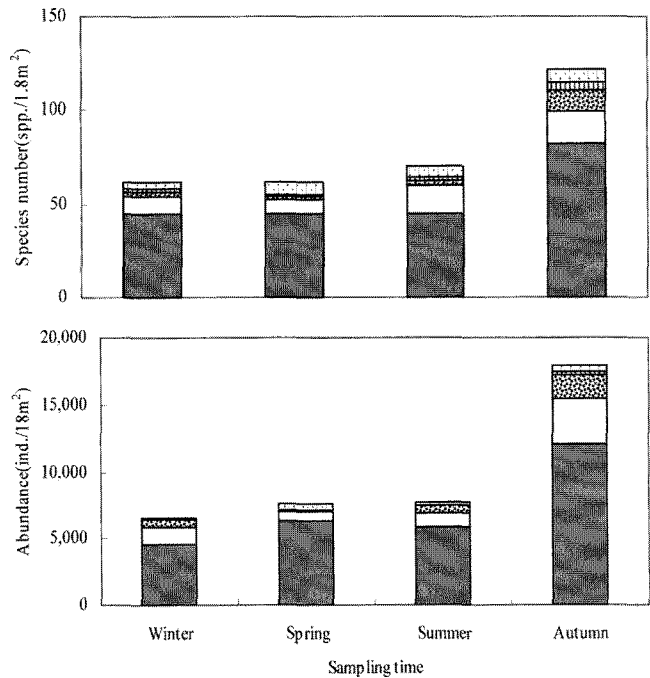


Fig. 2. Seasonal variation of total species number and abundance of macrobenthic animals around Gijang, East Coast of Korea.

장 많았다. 전반적으로 시간 경과에 따라 출현 종수는 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2). 정점별 평균 출현 종수는 9~29종의 범위에 정점 9에서 가장 적었고, 정점 2에서 가장 많았다. 출현 종수는 공간적으로 연안역에서 외해역으로 향할수록 감소하였다(Fig. 3). 개체수에 있어서도 다모류는 총 28,740개체의 밀도를 나타내 72.3%의 높은 점유율을 보였고, 다음으로 연체동물문, 갑각류 및 기타동물군의 순서로 각각 6,390개체(16.1%), 3,160개체(8.0%) 및

Table 1. Summary of sedimentological parameters at each station around Gijang, East Coast of Korea

Station No.	Depth (m)	Mean phi (φ)		Sorting (φ)		Contents (%)			
						Sand		Mud	
		Feb.	Aug.	Feb.	Aug.	Feb.	Aug.	Feb.	Aug.
1	27.0	6.0	6.1	2.4	2.4	24.6	18.1	75.4	81.9
2	31.7	3.5	6.3	1.3	2.2	93.1	9.7	6.9	90.3
3	25.7	6.3	5.5	2.1	2.4	11.4	34.7	88.6	65.3
4	33.8	6.9	6.7	2.0	2.0	4.1	2.1	95.9	97.9
5	41.2	7.0	6.8	2.0	2.2	2.6	6.5	97.4	93.5
6	41.6	6.8	6.8	2.3	2.6	7.2	12.0	92.8	88.0
7	42.6	6.4	6.0	2.1	2.2	9.2	20.4	90.8	79.6
8	56.5	6.8	6.6	1.9	2.1	2.1	3.8	98.0	96.2
9	74.0	6.6	6.8	2.0	2.1	5.5	2.6	94.5	97.4
10	85.0	7.0	6.6	2.0	2.0	2.7	1.4	97.3	98.6
11	41.0	6.7	6.4	2.1	2.2	5.7	11.4	94.3	88.6
12	68.0	6.8	7.0	1.8	2.1	1.0	2.7	99.0	97.3
13	86.0	6.6	6.8	2.0	2.1	4.5	3.5	95.5	96.5
14	44.0	6.7	7.0	1.9	2.2	2.3	3.7	97.7	96.3
15	46.4	6.7	6.3	1.8	2.1	1.6	6.6	98.4	93.4
16	47.0	6.8	6.8	2.1	2.1	5.7	4.4	94.3	95.6
17	100.0	7.1	6.2	2.1	2.4	3.6	14.0	96.4	86.0
18	81.0	6.8	6.6	2.0	2.2	1.3	6.4	98.7	93.6

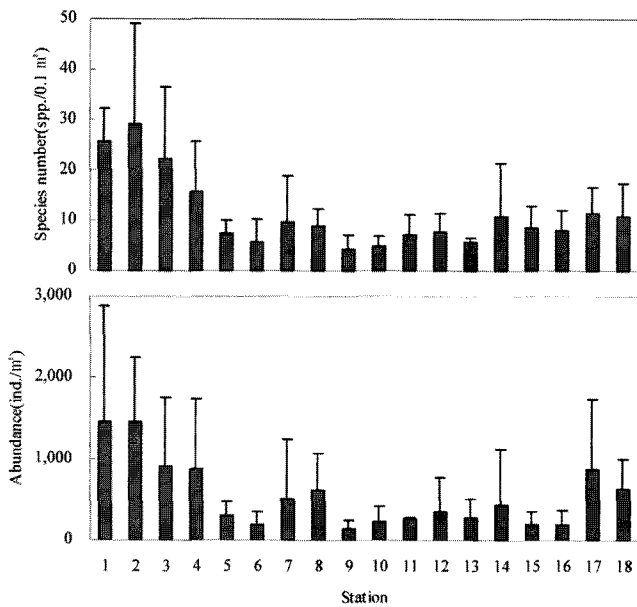


Fig. 3. Spatial variation of mean species number and abundance of macrobenthic animals around Gijang, East Coast of Korea.

1,190개체(3.0%)가 출현하였다. 이 외에 극피동물문은 250개체의 밀도를 나타내 0.6%의 매우 낮은 점유율을 보였다. 조사 시기별로는 최소 6,540개체/18 m<sup>2</sup>(춘계)에서 최대 17,920개체/18 m<sup>2</sup>(추계)의 범위에 조사 시기 당 평균 개체수는 9,933개체이었다. 시간 경과에 따라 동계에서 추계로 향할수록 개체수는 증가하였고, 특히 동계의 밀도 증가가 특징적이었다(Fig. 2). 정점에 따라서는 최소 평균 135개체/m<sup>2</sup>(정점 9)에서 최대 1,463개체/m<sup>2</sup>(정점 1과 2)의 범위를 보여 출현 종수의 경향과 동일하였다(Fig. 3).

**개체수 우점종**

연구해역에서 출현한 대형저서동물의 개체수와 출현 빈도를 기초로 LeBris index(1988)를 이용하여 상위 10위까지의 우점종을 선정하였다. 분류군별로 다모류가 7종으로 가장 많았고, 연체동물문과 갑각류는 각각 2종과 1종이 상위에 위치하고 있었다. 이들을 최우선 순위별로 나열하면, 환형동물문 다모류의 긴자락송곳갯지렁이(*Lumbrineris longifolia*), 양손갯지렁이(*Magelona japonica*), 절지동물문 갑각류의 미동정 옆새우류(*Amphipoda* spp.), 다모류의 오뚜기갯지렁이(*Sternaspis scutata*), 연체동물문 이매패류의 북방호두조개(*Ennucula tenuis*), 다모류의 매끈오정갯지렁이(*Ammotrypane aulogaster*), 투구갯지렁이(*Sigambra tentaculata*), 작은사슴갯지렁이(*Ampharete arctica*), *Mediomastus californiensis*

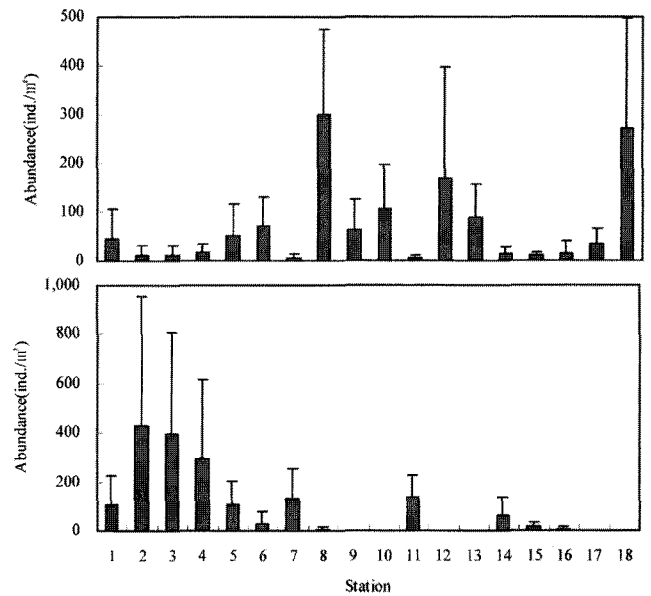


Fig. 4. Spatial variation of *Lumbrineris longifolia* (upper) and *Magelona japonica* (lower) at each station around Gijang, East Coast of Korea.

및 이매패류의 아기반투명조개(*Theora fragilis*) 등이었다. 이들이 차지하는 밀도는 25,900개체로 전체의 65.2%를 점유하였다(Table 3). 이 중 양손갯지렁이와 긴자락송곳갯지렁이는 각각 6,870개체(95±209개체/m<sup>2</sup>)와 5,200개체(72±121개체/m<sup>2</sup>)가 출현하여 17.3%와 13.1%의 높은 점유율을 보였다. 한편 2종의 공간분포를 보면, 양손갯지렁이는 모래가 상대적으로 많은 정점 1, 2와 3에서 밀도가 높았던 반면, 긴자락송곳갯지렁이는 펄이 상대적으로 많은 정점 8, 10, 12, 13 및 18에서 밀도가 높아 차이가 있었다(Fig. 4).

**생태학적 제 지수 및 군집구조**

대형저서동물의 출현 개체수 자료를 기초로 생태학적 제 지수를 분석하였다. 종 풍부도는 평균 0.6~3.8의 범위에 정점 9에서 가장 낮았고, 정점 2에서 가장 높았다. 또한 조사 시기에 따라서는 춘계의 정점 7과 하계의 정점 14에서 가장 낮았고, 추계의 정점 2에서 가장 높았다. 종 다양도는 최소 평균 1.0(정점 9)에서 최대 2.5(정점 1)의 범위를 보였고, 조사 시기별로는 0.6(춘계의 정점 7과 하계의 정점 14)에서 최대 3.1(추계의 정점 2)의 범위이었다. 이상에서 종 풍부도와 다양도는 공통적으로 고리 원자력발전소가 위치하고 있는 정점군에서 높다는 특징이 있었다. 한편 균등도는 출현 종들이 동일한 밀도를 나타내 1.0의 수치를 나타낸 일부 정점(하계의 정점 15 및 16)을 제외하면, 평균 0.3~0.9의 범위에 조

Table 2. Pearson correlation coefficients within the environmental and biological parameters (\*\*p<0.01, \*p<0.05)

	Species No.	Abundance	Biomass	Depth(m)	Mz	Sand %	Mud %
Species No.	1.000	0.748**	0.194	-0.348*	-0.363*	0.322	-0.322
Abundance	0.748**	1.000	0.065	-0.025	-0.228	0.210	-0.210
Biomass	0.194	0.065	1.000	-0.155	-0.078	0.071	-0.071
Depth (m)	-0.348*	-0.025	-0.155	1.000	0.345*	-0.349*	0.349*
Mean phi (Mz, ϕ)	-0.363*	-0.228	-0.078	0.345*	1.000	-0.963*	0.963**
Sand %	0.322	0.210	0.071	-0.349*	-0.963**	1.000	-1.000**
Mud %	-0.322	-0.210	-0.071	0.349*	0.963**	-1.000**	1.000

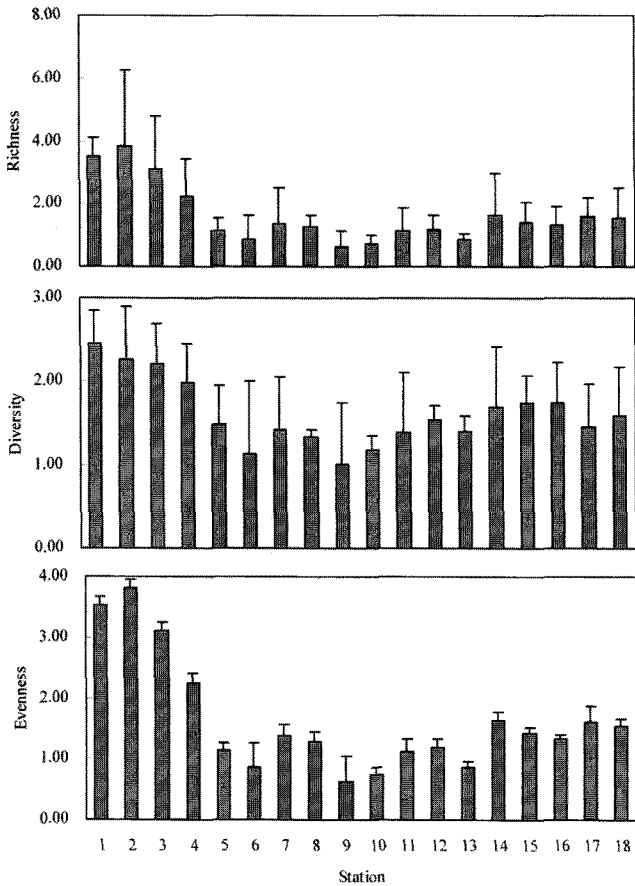


Fig. 5. Spatial variation of species richness, species diversity and evenness at each station around Gijang, East Coast of Korea.

사 시기별로는 동계의 정점 17에서 가장 낮았고, 춘계의 정점 14에서 가장 높았다. 특히 동계의 정점 17에서의 낮은 균등도는 북방호두조개의 높은 출현 밀도에 기인한 결과이었다(Fig. 5).

출현 종과 개체수의 자료를 근거로 대형저서동물의 군집구조 분석을 실시하여 수지도와 다차원배열법으로 표현하였다. 분석에서는 전체 출현 밀도의 0.5% 이상(200개체 이상)을 점유하는 26종을 대상으로 실시하였다. 그 결과, 시간에 따라 다소 간의 차이는 있으나, 전반적으로 크게 3개의 그룹으로 구분됨을 알 수 있었다. 그룹 1은 정점 8~10, 12, 13, 17 및 18이 포함되었고, 그룹 2는 정점 5~7, 11과 14~16으로 구성되었다. 마지막으로 그룹 3은 그룹 1과 2를 제외한 정점 1에서 4까지가 속해 있었다. 한편 각 그룹별 특징종을 보면, 그룹 1에서는 긴자락송곳지렁이, 북방호두조개 및 미동정 옆새우류가, 그룹 2에서는 아기반투명조개와 작은시슴갯지렁이 등이 우점하였다. 마지막으로 그룹 3은 양손갯지렁이와 오뚜기갯지렁이가 우세하게 출현하였다(Fig. 6).

고 찰

환경요인

우리나라의 동해안은 해안선을 따라 모래해빈이 특징적으로 잘 발달하여 있고, 모래는 육지와 인접한 연안역에서 상대적으로 많다(최 등, 2000; 백 등, 2007). 또한 수심 구배에 따라서도 20.0 m

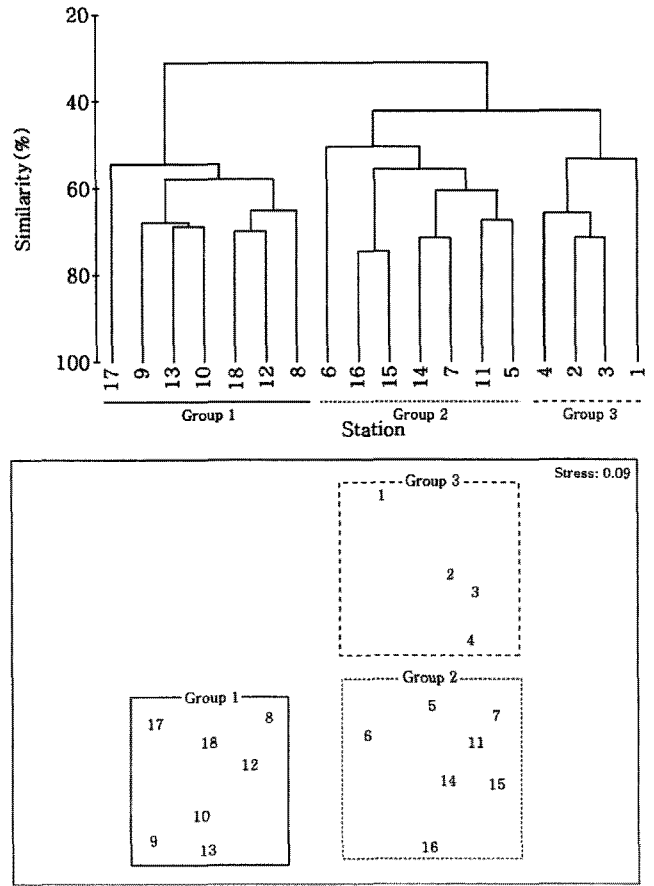


Fig. 6. Dendrogram for hierarchical clustering (upper) and 2-dimensional nMDS configuration, using group-average linkage by Bray-Curtis similarities calculated on the square-root transformed abundance data around Gijang, East Coast of Korea.

이하의 연안역에서는 모래가 많고, 그 보다 깊은 수심에서는 펄이 많아 연안역에서 외양역으로 향할수록 세립해지는 양상을 나타내는 것이 일반적인 현상이다(백 등, 2007; 서 등, 2009). 본 연구해역에서도 수심 약 30.0 m 이하의 정점 1, 2 및 3에서 모래가 평균 21.0% 이상을 차지하였고, 이를 제외한 모든 정점에서는 펄이 85.0% 이상을 상회하여 동일하였다. 한편 퇴적물의 평균입도는 평균 4.9~6.9φ의 범위로 연안역에 가까운 정점 2(평균 4.9±2.0)와 3(평균 5.9±0.6)을 제외하면, 전반적으로 6.0φ 이상의 세립한 퇴적물로 구성되었고, 이러한 결과는 2000년대 초기에 시행된 조사결과와도 동일하였다(한국전력공사 전력연구원, 2001, 2003, 2005). 지금까지 동해안에서 수행된 대형저서동물 군집과 환경요인과의 관계 연구를 보면, 강릉 연안해역의 경우에는 수심에 의해(최 등, 2000), 후포 주변해역은 수심, 평균입도와 유기물 함량에 의해 군집조성이 변화함을 알 수 있다(백 등, 2007). 또한 울산만에서도 후포 주변해역과 동일하게 3개 환경변수가 상관성이 높게 나타나 동일하였다(윤 등, 2009). 반면 본 연구해역은 공간적으로 고리 원자력발전소와 지근에 위치하고 있다. 따라서 발전소 가동에 따른 온배수 배출의 영향으로 수온변화가 비교적 심한 해역으로 분류되고 있다. 한국해양대학교 해양과학기술연구소(2007)의 결과에 의하면, 고리 원자력 발전소 가동으로 인한 온배수의 최대 확산범

**Table 3.** Dominant species ranking based on the abundance data by LeBris index (1988) around Gijang, East Coast of Korea

Rank	Taxon	Species name	Total abundance	Mean density (ind./m <sup>2</sup> ±Std.)	% of total individuals	Frequency of Occurrence	LeBris Index
1	APOL	<i>Lumbrineris longifolia</i>	5,200	72±121	13.09	54	1,598.43
2	APOL	<i>Magelona japonica</i>	6,870	95±209	17.29	38	826.82
3	CAM	<i>Amphipoda spp.</i>	2,900	40±103	7.30	37	391.93
4	APOL	<i>Sternaspis scutata</i>	2,470	34±81	6.22	30	286.45
5	MBI	<i>Ennucula tenuis</i>	3,330	46±164	8.38	24	285.62
6	APOL	<i>Ammotrypane aulogaster</i>	760	11±37	1.91	24	93.55
7	APOL	<i>Sigambra tentaculata</i>	630	9±21	1.59	25	89.73
8	APOL	<i>Ampharete arctica</i>	1,010	14±51	2.54	18	48.35
9	APOL	<i>Mediomastus californiensis</i>	1,200	17±81	3.02	22	48.21
10	MBI	<i>Theora fragilis</i>	1,530	21±98	3.85	12	43.68

Index: APOL, Annelida polychaeta; CAM, Arthropoda crustacea amphipoda; MBI, Mollusca bivalvia

위는 남동방향으로 3.3 km, 남서방향으로 5.7 km 내외로 본 연구의 정점 7에서 9년까지 영향을 미치는 것으로 파악되고 있다. 그럼에도 불구하고, 발전소에서 배출된 온배수가 표층에서 확산되어 중층수괴와의 혼합과정을 거쳐 대형저서동물이 서식하고 있는 저층까지는 영향이 미비할 것으로 예측된 바 있다. 또한 서 등(2009)도 월성 원자력발전소 인근해역에 서식하는 대형저서동물 군집이 온배수 배출 영향과 통계적으로 유의한 상관성이 없음을 밝힌 바 있어 본 연구에서 수온은 중요한 환경요인으로 고려하지 않았다. 이상을 기초로 본 연구에서 출현한 대형저서동물의 생물지수와 환경요인과의 상관관계를 분석한 결과, 출현 종수는 수심 및 퇴적물의 평균입도와 유의한 음의 상관관계가 있었다( $p < 0.05$ ). 그러나 개체수 및 생체량은 환경요인과 유의한 상관성이 없는 것으로 파악되었다( $p > 0.05$ ). 이와 같은 현상은 본 연구해역에서의 출현 종수가 수심이 깊어지고, 퇴적물이 세립해질수록 적어진다는 것을 의미하는 것으로 수심이 깊은 필이 많은 정점군에서 출현 종수가 적었다는 점에서 이를 잘 입증하고 있다(Table 2).

### 출현 종수 및 개체수

본 연구해역에서는 총 157종의 대형저서동물이 출현하였고, 단위 면적당(m<sup>2</sup>) 출현 개체수는 552개체/m<sup>2</sup> 이었다. 출현 종수 및 개체수에 있어서 다모류가 101종과 399개체/m<sup>2</sup>를 나타내 가장 우점하는 생물군이였다. 한편 본 연구해역에서 출현한 157종은 울산만의 127종(Yi et al., 1982)보다는 많았으나, 강릉 연안해역의 163종(최 등, 2000), 후포 주변해역의 319종(백 등, 2007) 및 본 연구해역과 동일한 해역에서의 손(2006)과 신(2007)의 각각 218종과 215종보다는 상대적으로 적었다. 이와 같은 차이는 채집시기, 면적 및 연구자의 중 동정의 강도에서 비롯된 차이가 크다고 볼 수 있어 직접적인 비교는 어렵다. 또한 본 연구에서 정점 8과 17에서 높은 밀도를 나타낸 미동정의 옆새우류에 대한 정확한 분류가 이루어지지 못했다는 점에서 상대적으로 낮은 출현 종수를 나타내는 원인이 되었다고 추정된다. 그러나 전반적으로 생물군에 있어서 다모류가 가장 다양하고 높은 밀도를 나타내 동일한 결과를 보였다(정, 2006; 손, 2006; 신, 2007). 이렇듯 대형저서동물 군집의 중요 생물군의 하나인 다모류는 퇴적물의 평균입도와 모래 및 필의 함량에 의해 출현 종수 및 밀도의 변동이 비교적 큰 것으로 파악되고 있다(정 등, 1997). 특히 퇴적물식성을 수행하는 다

모류의 출현 종수나 밀도가 상대적으로 다양하고 많기 때문에 모래가 다량 분포하는 해역과 비교해 필이 우세하게 분포하는 해역에서 출현 종수나 개체수가 통상적으로 많다. 그럼에도 불구하고, 본 연구해역에서는 모래가 상대적으로 많은 정점군(1, 2 및 3)에서 다모류의 출현 종수 및 개체수가 많이 차이가 있었다. 이와 같은 현상은 정점 1, 2와 3이 다른 정점들과 비교해 필과 모래가 혼합되어 있는 퇴적물로 구성되었다는 점에 그 원인이 있는 것으로 추정된다.

한편 조사해역별 단위 면적당 평균 서식밀도와 다모류의 밀도는 각각 552개체/m<sup>2</sup>와 399개체/m<sup>2</sup>로 강릉 연안해역의 1,187개체/m<sup>2</sup>, 600개체/m<sup>2</sup>(최 등, 2000), 후포 주변해역의 1,972개체/m<sup>2</sup>, 1,601개체/m<sup>2</sup>(백 등, 2007), 동일 해역에서의 1,098개체/m<sup>2</sup>(다모류 871개체/m<sup>2</sup>, 정, 2006), 727개체/m<sup>2</sup>(다모류 535개체/m<sup>2</sup>, 손, 2006)와 722개체/m<sup>2</sup>(다모류 590개체/m<sup>2</sup>, 신, 2007)등과 비교해서도 적었다. 이상을 종합하면 본 연구에서의 출현 종수 및 개체수는 동해안의 다른 연구해역과 비교해 전반적으로 낮다고 볼 수 있다. 결국 이와 같은 결과는 일부 정점(정점 1, 2와 3)을 제외한 대부분의 정점이 필이 매우 많은데 그 원인이 있는 것으로 추정된다. 특히 85.0% 이상의 필로만 구성된 정점 5에서 18까지의 낮은 출현 종수와 개체수가 이를 입증하고 있다.

### 개체수 우점종

대형저서동물 군집 가운데 다모류는 현존량이나 종 구성에 있어서 매우 중요한 위치를 차지한다(정, 1997). 본 연구해역에서도 개체수를 기준으로 상위 10위 우점종 가운데 공통적으로 7종이 서열되어 이를 잘 반영하고 있었다. 특히 양손갯지렁이와 긴자락송곳갯지렁이는 본 연구에서 적용한 LeBris index(1988)와 본 지수를 이용하지 않은 단순 출현 개체수에 있어서도 각각 단위면적당(m<sup>2</sup>) 95개체와 72개체의 밀도를 나타내 1위와 2위를 점유하는 대표적인 생물이었다. 이 가운데 양손갯지렁이의 밀도는 울산만(윤 등, 2009)과 후포 주변해역(백 등, 2007)에서 단위 면적당(m<sup>2</sup>) 558개체와 170개체가 출현한 것을 제외하면, 울산만 81개체(Yi et al., 1982), 영일만 32개체(신 등, 1992), 울산만과 온산만의 7개체(신 등, 2001) 및 강릉연안의 2개체(최 등, 2000)와 비교해 월등히 많았다. 이렇듯 본 종은 울산만과 후포 주변해역 등의 일부 정점에서는 각각 2,460개체와 1,878개체가 출현하여 극우점하는 양상을

**Table 4.** Environmental and biological characteristics at each faunal group around Gijang, East Coast of Korea

	Group 1	Group 2	Group 3
Number of Station	7 (8~10, 12, 13, 17, 18)	7 (5~7, 11, 14~16)	4 (1~4)
Depth (m)	56.5~100.0	41.2~47.0	25.7~33.8
Mean phi (φ)	6.2~7.1	6.0~7.0	3.5~6.9
Sand (%)	3.9	7.1	24.7
Mud (%)	96.1	92.9	75.3
Total number of species	60	60	128
Mean species number (spp./0.1 m <sup>2</sup> )	8±4	8±6	23±13
Mean abundance (ind./m <sup>2</sup> )	446±465	300±373	1,176±950
Richness (R)	1.1±0.6	1.3±0.8	3.2±1.6
Diversity (H')	1.4±0.4	1.5±0.6	2.2±0.5
Evenness (J)	0.7±0.2	0.8±0.2	0.8±0.1
Dominant species	<i>Lumbrineris longifolia</i> <i>Ennucula tenuis</i> <i>Amphipoda</i> spp.	<i>Theora fragilis</i> <i>Ampharete arctica</i>	<i>Magelona japonica</i> <i>Sternaspis scutata</i>

보이기도 하였다(윤 등, 2009; 백 등, 2007). 따라서 본 종은 울산만의 외해역, 일정 수층 이상의 수심 및 해수의 유통이 원활한 곳에 서식하거나 또는 후포 주변해역에서는 수심 20.0~50.0 m 사이의 펄과 모래가 혼합된 퇴적물에서 출현 밀도가 매우 높다는 특징을 보이고 있다. 본 연구해역에서도 수심 20.0~30.0 m 내외의 모래가 20.0~50.0% 범위를 나타내는 혼합질 퇴적상의 정점에서 우점하는 것은 이들의 생물학적 또는 생태학적 특성이 반영된 결과로 추정할 수 있다. 그러나 본 종의 섭식유형이 표층퇴적물식자라는 점(최 등, 2000)과 수심 조건이 충족되는 동해의 펄퇴적상에서 뚜렷한 선호도를 보였다(백 등, 2007)와는 다소 차이를 보여 향후 본 종에 대한 생태학적인 접근이 보다 요구된다.

2번째 우점종인 긴자락송곳지렁이는 국내에서 유기물 오염과 관련된 종으로 보고되어 있다(신 등, 2001; 임과 최, 2001; 윤 등, 2007). 본 연구에서는 단위 면적당(m<sup>2</sup>) 72개체가 출현하여 월성원자력 발전소 주변해역의 33개체(서 등, 2009)보다는 많았으나, 영일만의 103개체(신 등, 2001), 후포주변 해역의 250개체(백 등, 2007) 및 울산만의 257개체(Yi et al., 1982)와 비교하여 상대적으로 적었다. 지금까지 본 종은 생태학적으로 펄이 많이 포함된 혼합된 퇴적물에서 주로 출현하며, 일부 해역에서는 빈산소환경이 잘 발달한 해상가두리 양식장에서도 높은 밀도를 나타내 생태적 지위가 매우 넓은 종으로 파악되고 있다(정 등, 2002). 또한 서식처의 환경요인과의 상관성에서 수심, 퇴적물의 유기물 및 펄함량과 양의 상관관계를 보이는 것으로 알려져 있다. 따라서 지금까지 대부분의 연구에서 유기물오염 지표종으로 간주되어 환경질의 열악함 정도를 반영하는 생물로 판단되고 있으나, 그 보다는 개체의 수명이 짧고, 소형의 크기를 가지며 환경변화에 따라 폭발적인 밀도 증가를 나타내는 기회종으로 추정하는 것이 바람직하다고 판단된다. 특히 후포주변 해역에서는 모래가 많고, 인위적인 간섭요인(산업단지의 입지시설이 적고, 유기물 유입이 상대적으로 적음)이 적었음에도 불구하고 높은 밀도를 나타낸다는 점에서 유기물 오염 지표종으로의 고려는 향후 논의가 필요할 것으로 추정된다.

마지막으로 본 연구에서 특이한 사항은 민얼굴갯지렁이(*Spiophanes bombyx*)의 출현 유무이다. 민얼굴갯지렁이는 지금까지 동해안에서 출현하는 대표적 우점종으로 강릉 연안, 후포 및 울진 주변해역, 월성 연안해역 및 영일만 등에서 높은 밀도로 서식하는 서관

형성 표층퇴적물식자이다(신 등, 1992; 최 등, 2000; 백 등, 2007). 특히 강릉 및 후포 주변해역과 영일만에서는 단위면적당(m<sup>2</sup>) 각각 436개체와 557개체의 밀도로 많았고, 후포 주변해역의 일부 정점에서는 3,430개체가 출현하기도 하였다. 또한 본 종은 영일만을 제외하면, 공통적인 서식환경으로 깊은 수심의 모래가 많거나 또는 조사 해역에 따라 출현 밀도차가 매우 큰 종으로 분류되고 있다. 결국 본 연구해역에서 민얼굴갯지렁이가 출현하지 않은 이유는 이들이 서식하는 수심조건보다는 기질로 선호하는 모래 퇴적물이 본 조사해역에서 상대적으로 적었다는 점에 그 원인이 있는 것으로 추정된다.

**군집분석**

본 연구해역에서 대형저서동물 군집은 크게 3개로 구분되었고, 각각의 그룹은 특징적인 환경과 생물상의 차이를 보였다. 이 가운데 그룹 1은 수심 56.5~100.0 m와 평균입도 6.2~7.1φ의 범위를 보이는 정점 8~10, 12, 13, 17 및 18로 구성되었다. 또한 그룹 1에서의 출현 종수와 개체수는 각각 60종과 평균 446개체가 채집되었다. 특히 긴자락송곳지렁이, 북방호두조개 및 미동정 옆새우류의 밀도가 높아 특징적이었다. 반면 그룹 2는 수심과 평균입도가 각각 41.2~47.0 m와 6.0~7.0φ의 범위를 나타낸 정점 5~7, 11과 14~16이 포함되었다. 출현 종수는 그룹 1과 동일하게 60종이 출현한 가운데, 출현 개체수는 평균 300개체이었다. 중요 우점종으로는 아기반투명조개와 작은사슴갯지렁이였다. 마지막으로 그룹 3은 수심이 최소 25.7 m에서 최대 33.8 m의 범위를, 평균입도는 최소 3.5φ에서 최대 6.9φ의 범위를 나타내는 정점 1~4까지로 구성되었다. 한편 출현 종수는 채집면적이 다른 그룹과 비교해 상대적으로 매우 적었음에도 불구하고, 128종이 출현하여 가장 다양하였고, 개체수에 있어서도 평균 1,176개체를 나타내 상대적으로 많았다. 우점종에 있어서도 양손갯지렁이와 오투기갯지렁이가 특징적으로 높은 밀도를 나타내었다. 이상을 종합하면, 본 해역에서 대형저서동물의 군집의 차이를 유발하는 요인은 수심과 퇴적물의 특성(평균입도와 펄모래함량)으로 추정할 수 있다. 즉, 수심은 50.0 m를 기준으로, 평균입도는 6.0φ를 기준으로 대형저서동물의 군집에 차이가 있음을 알 수 있었다(Fig. 7). 다만 그룹 1과 2의 분리는 기질로서의 퇴적물 조성보다는 수심이 보다 더 중요한 영향을

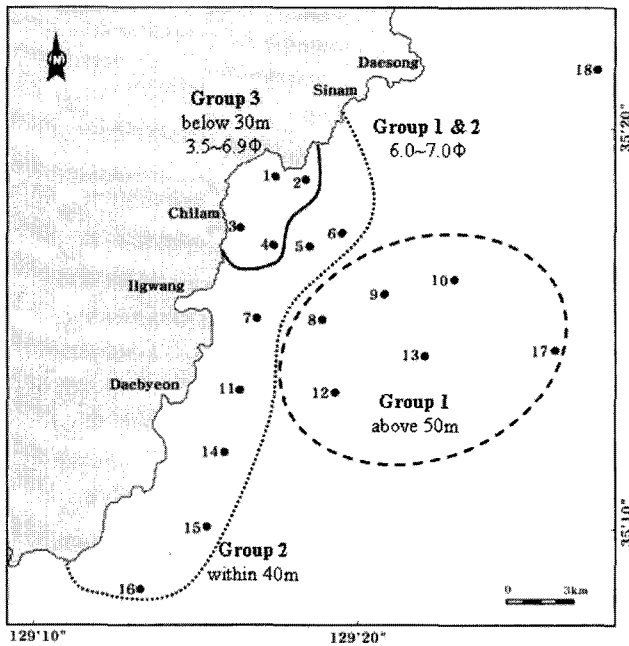


Fig. 7. Environmental conditions affecting the distribution and community structure of macrobenthic animals around Gijang, East Coast of Korea.

미쳤을 것으로 판단된다. 따라서 이상을 종합하면, 동해안은 서남해안과 비교해 상대적으로 모래가 많고, 수심의 경사도가 급해 서식하는 생물도 그 분포를 달리한다고 알려져 있다. 특히 서로 다른 퇴적상을 나타낸 강릉연안과 후포 주변해역을 포함한 동해안의 내만해역에서도 공통적으로 수심에 따라 군집구조가 변화하여 본 연구결과와 잘 일치하고 있다(최 등, 2000; 백 등, 2007; 윤 등, 2009).

## 참고문헌

- 백상규, 강래선, 전재욱, 이재학, 윤성규, 2007. 동해 후포주변 사질조하대에 서식하는 대형저서동물군집의 분포특성. *Ocean and Polar Research*, **29**: 123-134.
- 한국해양대학교 해양과학기술연구소, 2007. 고리원전 4개호기 가동에 따른 기장지역 온배수 영향 어업피해조사II. 463pp.
- 서인수, 문형태, 최병미, 김미향, 김대익, 윤재성, 변주영, 최유창, 손민호, 2009. 월성 원자력발전소 주변해역에 서식하는 대형저서동물의 군집구조. *환경생물*, **27**: 341-352.
- 손주희, 2006. 동해안 고리 주변 해역 저서동물군집의 구조. 대구대학교 교육대학원 석사학위 청구논문, 111pp.
- 송준임, 이인숙, 원정혜, 1995. 한국 온산만에서의 해산 무척추동물의 생태학적 연구. *환경생물학회지*, **13**: 131-151.
- 신연주, 2007. 동해안 고리원전 주변 조하대의 대형저서동물군집의 구조. 대구대학교 교육대학원 석사학위 청구논문, 154pp.
- 신현출, 최성순, 고철환, 1992. 영일만 다모류 군집의 계절별, 공간적 변화. *한국해양학회지*, **27**: 46-54.
- 신현출, 윤성명, 고철환, 2001. 울산만과 온산만 저서동물군집의 공간분포. *한국해양학회지 바다*, **6**(3): 180-189.
- 임현식, 최진우, 2001. 남해안 소리도 주변 연성저질 해역의 저서

- 동물 분포. *한국수산학회지*, **34**(3): 225-237.
- 윤상필, 정래홍, 김연정, 김성수, 이재성, 박중수, 이원찬, 최우정, 2007. 가막만의 저서환경과 다모류 군집 특성. *한국해양학회지 바다*, **12**(4): 287-304.
- 윤상필, 정래홍, 김연정, 김성길, 최민규, 이원찬, 오현택, 홍석진, 2009. 울산만의 저서환경 구배에 따른 저서동물군집 구조. *한국해양학회지 바다*, **14**(2): 102-117.
- 정래홍, 1997. 연안해역 개발에 따른 해양 저서생태계의 장기변동 연구. 인하대학교 이학박사학위 청구논문, 306pp.
- 정혜윤, 2006. 동해안 고리주변 해역 하계 저서동물 군집의 변화. 대구대학교 교육대학원 석사학위 청구논문, 82pp.
- 정래홍, 홍재상, 이재학, 1997. 광양제철소 건설을 위한 매립과 준설공사 기간 중 저서 다모류 군집의 공간 및 계절 변화. *한국수산학회지*, **30**: 730-743.
- 정래홍, 임현식, 김성수, 박중수, 전경암, 이영식, 이재성, 김귀영, 고우진, 2002. 남해안 가두리 양식장 밀집해역의 대형저서동물 군집에 대한 연구. *한국해양학회지 바다*, **7**(4): 235-246.
- 최진우, 채종길, 이재학, 임현식, 2000. 동해 강릉 연안의 사질 퇴적물에 서식하는 대형 저서무척추동물의 분포양상. *한국해양학회지*, **5**: 346-356.
- 최진우, 현상민, 장만, 2003. 저서동물에 의한 여름철 광양만의 저서환경 상태파악. *환경생물학회지*, **21**: 103-113.
- 한국전력공사 전력연구원, 1991. 울진 원자력 3, 4호기 건설사업 환경영향평가서. 대전, 520pp.
- 한국전력공사 전력연구원, 2001. 고리원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서(2000년보). 01전력연-단072, 355pp.
- 한국전력공사 전력연구원, 2003. 고리원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서(2002년보). 03전력연-단097, 314pp.
- 한국전력공사 전력연구원, 2005. 고리원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서(2004년보). 05전력연-단123, 324pp.
- 홍재상, 서인수, 2001. 인천 송도지역 척전 갯벌 대형저서동물의 군집 생태학. *한국해양학회지 바다*, **6**: 190-200.
- Bray, J.R. and J.T. Curtis, 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, **27**: 325-349.
- Byers, J., 2000. Competition between two estuarine snails: implications for invasions of exotic species. *Ecology*, **81**: 1225-1239.
- Diaz, R.J., G.R. Jr. Cutter 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**: 285-286.
- Folk, R.L. and W.C. Ward, 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain-size parameters. *J. Sed. Pet.*, **27**: 3-27.
- Gray, J.S., 1974. Animal-sediment relationship. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **12**: 233-261.
- Gray, J.S., 1981. *The Ecology of Marine Sediment*. Cambridge Univ. Press, London, 185pp.
- Hartley, J.P., 1982. Methods for monitoring off-shore macrobenthos. *Marine Pollution Bulletin*, **13**: 150-154.
- Hentschel, B.T. and P.A. Jumars, 1994. *In situ* chemical inhibition of benthic diatom growth affects recruitment of competing, permanent and temporary meiofauna. *Limnol. Oceanogr.*, **39**: 816-838.
- LeBris, H., 1988. *Fonctionnement des Écosystèmes Benthiques Côtiers au Contact d'Estuaire: la Rade de Lorient et la Baie de Vilaine*. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France, 311 pp.



- Levinton J. S., 1995. Marine Biology-Function, Biodiversity, Ecology-Oxford Univ. Press Inc., New York. 420pp.
- Magalef, R., 1958. Information theory in ecology. *Gen. Syst.*, **3**: 36-71.
- Peterson, C.H., 1991. Intertidal zonation of marine invertebrates in sand and mud. *Amer. Sci.*, **79**: 236-249.
- Pielou, E.C., 1977. *Mathematical Ecology*. Wiley Company, New York, 164pp.
- Rhoads, D.C., 1994. Organism-sediment relations on the muddy sea floor. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **12**: 263-300.
- Rhoads, D.C. and D.K. Young, 1970. The influence of deposit feeding organisms on sediment stability and community trophic structure. *J. Mar. Res.*, **28**: 150-178.
- Robert, R.D., M.R. Gregory and B.A. Foster, 1998. Developing an efficient macrofauna monitoring index from an impact study-A dredge spoil example. *Marine Pollution Bulletin*, **36**: 231-235.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. Illinois Pre., Urbana, 125pp.
- Snelgrove, P.V.R and C.A. Butman, 1994. Animal-sediment relationships revisited: cause vs effect. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **32**: 111-127.
- Whitlatch, R.B., 1977. Seasonal changes in the community structure of the macrobenthos the intertidal sand and mud flats of Barnstable Harbor, Massachusetts. *Biol. Bull.*, **152**: 257-294.
- 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.

---

2010년 7월 7일 원고접수

2010년 11월 9일 수정본 채택

담당편집위원: 최광식