

## 월성 원자력발전소 주변해역에 서식하는 대형저서동물의 군집구조

서인수\* · 문형태<sup>1</sup> · 최병미 · 김미향 · 김대익  
윤재성 · 변주영<sup>1</sup> · 최휴창<sup>1</sup> · 손민호

해양생태기술연구소, <sup>1</sup>한국수력원자력 (주)

### Community Structure of Macrobenthic Assemblages around the Wolseong Nuclear Power Plant, East Sea of Korea

In-Soo Seo\*, Hyung-Tae Moon<sup>1</sup>, Byoung-Mi Choi, Mi Hyang Kim, Dae Ik Kim,  
Jae Seong Yun, Ju Young Byun<sup>1</sup>, Hue Chang Choi<sup>1</sup> and Min Ho Son

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

<sup>1</sup>Korea Hydro and Nuclear Power Co., Ltd., 411 Yeong Dongdae-ro, Gangnam-gu,  
Seoul 135-781, Korea

**Abstract** – This study was carried out to investigate community structure of macrobenthic assemblages around the Wolseong Nuclear Power Plant, East Sea of Korea and seasonal sampling was performed from October 2007 to July 2008. A total of 163 macrobenthic fauna were collected. The overall average macrobenthos density and biomass were 1,005 individuals  $m^{-2}$  and 21.81 gWWt  $m^{-2}$ , respectively. Based on the LeBris (1988) index, there were 10 dominant species accounting for approximately 69.00% of total individuals. The major dominant species were the polychaetes *Spiophanes bombyx* (349 inds.  $m^{-2}$ ), *Mediomastus californiensis* (82 inds.  $m^{-2}$ ), *Sigambra tentaculata* (55 inds.  $m^{-2}$ ), *Magelona japonica* (50 inds.  $m^{-2}$ ), *Scoletoma longifolia* (33 inds.  $m^{-2}$ ) and the Unidentified amphipod (Amphipoda spp., 72 inds.  $m^{-2}$ ). The conventional multi-variate statistics (cluster analysis and non-metric multi-dimensional scaling) applied to assess spatial variation in macrobenthic assemblages. Cluster analysis and nMDS ordination analysis based on the Bray-Curtis similarity identified 2 major station groups. The major group 1 was associated with sand dominated stations and was characterized by high abundance of the bivalves *Macra chinensis*, *Siliqua pulchella* and the polychaete *Protodorvillea egena*. On the other hand, major group 2 was connected with mud dominated stations and was numerically dominated by the polychaetes *M. californiensis*, *M. japonica*, *Sternaspis scutata*, *S. longifolia* and the bivalves *Thyasira tokunagai* and *Theora fragilis*. However, macrobenthic community structure were no significant differences between the environmental variables (sediment type and depth) and heated discharge.

**Key words** : macrobenthos, community, Nuclear Power Plant, Wolseong, East Sea

\* Corresponding author: In-Soo Seo, Tel. 051-611-6200,  
Fax. 051-611-0588, E-mail. isseo@marine-eco.co.kr

## 서 론

대형저서동물은 생활사 전반을 통해서 행동학적으로 이동성이 적거나 또는 정주성(고착성)의 특징을 보인다. 또한 이들 군집은 일시적인 서식처 교란에 반응하여 능동적으로 도피할 능력이 제한되어 있기 때문에 환경변화의 영향을 감지하는데 유용한 생물군으로 알려져 있다. 따라서 대형저서동물 군집의 개체수와 다양도는 해당 저서생태계의 건강도를 측정하는 요소로 고려되고 있다 (Pearson and Rosenberg 1978; Thouzeau *et al.* 1991; Ols-gard and Gray 1995).

한편 화석연료 및 원자력 발전을 이용한 에너지 생산의 증가는 발전소 가동으로 인한 온배수 배출이라는 점 때문에 필연적으로 해양환경에 직·간접적인 영향을 미친다 (Lardicci *et al.* 1999). 특히 온배수 배출에 의해서 야기되는 해양환경의 변화는 대상 생태계에서 온배수 유출량과 기후, 수리학 및 생물학적 특성에 따라 변화한다. 그럼에도 불구하고, 본 연구해역과 같이 연안역에서의 환경변화는 평상시에도 매우 크다. 따라서 다양한 무기 환경요인과 생물학적 작용이 복합적으로 발현될 가능성이 높아 단순히 온배수 배출에 대한 영향의 정도를 예측한다는 것은 상대적으로 어렵다. 특히 원자력발전소 가동으로 인한 환경변화는 장기간에 걸쳐 누적되어 표출될 가능성이 높게 제기된 만큼 향후 지속적인 조사 및 감시가 제안되기도 하였다 (한국전력공사 전력연구원 2008).

원자력발전소는 1978년 고리 원자력발전소 1호기 가동을 최초로 2008년 현재 울진, 월성 및 영광 등 총 4개 곳에 20기가 운영 중에 있으며, 다수가 동해안에 위치한다는 특징이 있다 (한국전력공사 전력연구원 2008). 본 연구해역인 월성 원자력발전소는 1983년 1호기가 가동된 이후로 현재까지 4호기가 운용 중에 있으며, 향후 에너지 수요 증가에 따른 필요성으로 신월성 1호기 및 2호기가 추가적으로 준공될 예정이다. 이렇듯 서해안의 영광을 제외한 대부분의 원자력발전소가 입지하고 있는 우리나라 동해 연안은 서·남해안과 비교하여 조석차가 2.0 m 이하인 소조차 해안으로 분류되고 있다. 또한 물리 환경적으로 조석의 영향보다는 파랑이 우세한 환경으로 해안선을 따라 수심구배도 비교적 뚜렷하다 (백 등 2007). 지금까지 본 조사 해역이 포함된 동해 연안 인근에서 수행된 대형저서동물 군집에 대한 연구는 강릉 연안해역 (최 등 2000), 후포 주변해역 (백 등 2007), 울진 연안해역 (한전기술연구원 1987, 1990), 영일만 (신 등 1992), 온산만 (송 등 1995), 울산만 (Yi *et al.* 1982) 및 고리 원자력발전소 주변해역 (한전기술연구원 1987, 1990; 손

2006; 정 2006; 신 2007) 등에서 수행되었다. 특히 본 연구해역과 동일한 월성 원자력발전소 주변해역에서도 1986년부터 현재까지 육상생태계, 해양환경 및 해양생태계 전반에 대한 조사가 수행 중에 있다 (한국전력공사 전력연구원 2008). 이상에서와 같이 대형저서동물 군집을 대상으로 동해 연안에서 이루어진 연구는 강릉과 후포 주변해역을 제외하면, 비교적 인구가 밀집된 도시 주변의 내만해역을 중심으로 이루어졌다는 공통점이 있다. 반면 원자력발전소 주변해역을 대상으로 한 연구는 대부분 부산광역시 기장군 고리 주변해역에 집중되어 있다. 또한 인위적인 간섭이 없는 일반해역을 대상으로 수행된 연구로 강릉과 후포 주변해역은 주로 사질퇴적상에 서식하는 대형저서동물 군집을 대상으로 했다는 점에서 본 연구와 차이가 있다.

본 연구는 월성 원자력발전소 주변해역에 서식하는 대형저서동물의 출현 종수, 생물량(개체수 및 생체량) 및 군집구조를 일차적으로 파악하고, 향후 온배수 배출에 따른 대형저서동물 군집의 변화를 감지하는 기초자료를 제공한다는 목적으로 실시되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 현장조사

월성 원자력발전소 주변해역에 서식하는 대형저서동물의 출현 종수, 생물량(개체수 및 생체량) 및 군집구조를 파악하기 위하여 2007년 10월부터 2008년 7월까지 계절별로 총 4회의 현장조사를 실시하였다 (Fig. 1). 조사 정점은 원자력발전소의 취·배수구(정점 3과 4)로부터 이격정도에 따라 0.5 km(정점 2, 5와 7), 1.0 km(정점 1, 6과 8), 2.0 km(정점 9) 및 4.0 km(정점 10)로 구분하여 선정하였다. 현장조사에서는 변형된 채니기(modified van Veen grab)를 이용하여 정점 당 0.1 m<sup>2</sup>의 저질 표면적을 채취하였다. 채취된 퇴적물은 현장에서 1 mm 망목의 체를 이용하여 대형저서동물을 분리하였고, 최종농도 10%의 중성 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 그 후 분류군별로 선별하여 동정을 실시한 후, 개체수와 생체량을 계수 및 측정하였다. 연구해역의 무기 환경요인은 본 연구와 동시에 현장조사가 이루어진 “원전 취배수가 주변 해양생물자원에 미치는 영향 연구”의 자료를 참고하였고, 조사 기간 중 원자력발전소에서 배출되는 온배수의 수온과 주변 해수와의 차이는 약 7°C로 파악되었다 (한국수력원자력(주) 2008).

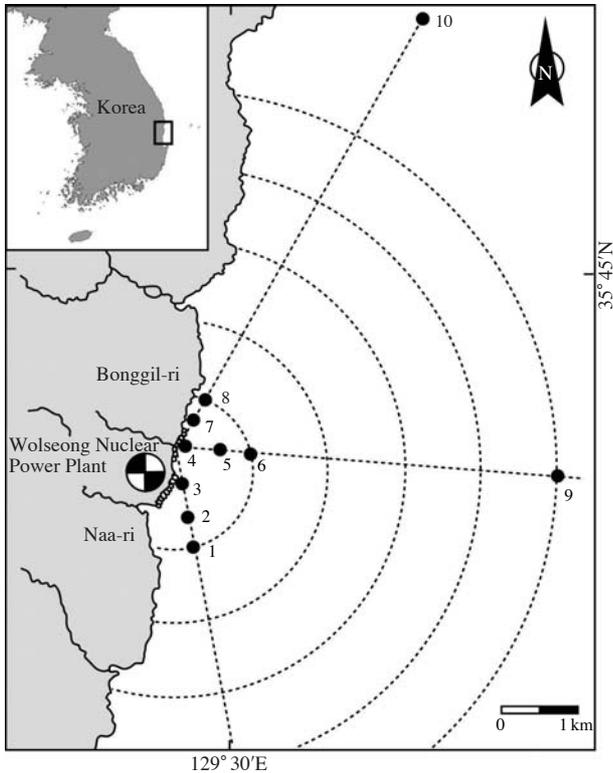


Fig. 1. Location of the sampling stations around the Wolsong Nuclear Power Plant, East Sea of Korea.

## 2. 군집분석

대형저서동물의 군집구조를 파악하기 위하여, 종 풍부도 지수(R, Margalef 1958), 종 다양도 지수(H', Shannon and Weaver 1949)와 균등도 지수(J, Pielou 1977)를 구하였다. 출현 종과 개체수 자료를 이용한 군집분석에서 각 정점 간의 유사도(similarity)를 파악하기 위하여, Bray and Curtis(1957)의 지수를 이용하였다. 유사도 지수 행렬로부터 각 조사 정점과 출현 종을 연결하는 방법으로는 group-average를 이용하였다. 군집분석은 PRIMER (Plymouth Routines Multivariate Ecological Research) computer package를 이용하여 수지도(dendrogram)와 다차원배열법(nMDS)으로 나타내었다. 또한 무기 환경요인과 대형저서동물의 생물요인과의 상관관계를 파악하기 위하여 Pearson correlation 분석을 실시하였다. 한편 연구해역에서 출현한 대형저서동물의 기질(퇴적상), 수심 및 온배수 배출에 따른 차이유무를 파악하기 위하여 변이(variance)의 동질성을 판단한 후, 일원일차분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다.

## 3. 우점종 분석

우점종은 출현 개체수 및 생체량과 그 출현빈도를 고

려하는 LeBris index (1988)를 이용하여 선정하였고, 그 식은 아래와 같다.

$$D'_{ij} = F_{ij} \times D_{ij} \times 100$$

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

$P_{ij}$ :  $j$ 번째 군집에서 종  $i$ 의 출현횟수,  $P_j$ :  $j$ 번째 군집의 전체 정점수,

$N_{ik}$ :  $j$ 번째 군집에서  $k$ 번째 정점에 출현하는 종  $i$ 의 개체수 또는 생체량,

$N_k$ :  $k$ 번째 정점에서의 전체 개체수 또는 생체량

## 결 과

### 1. 환경요인

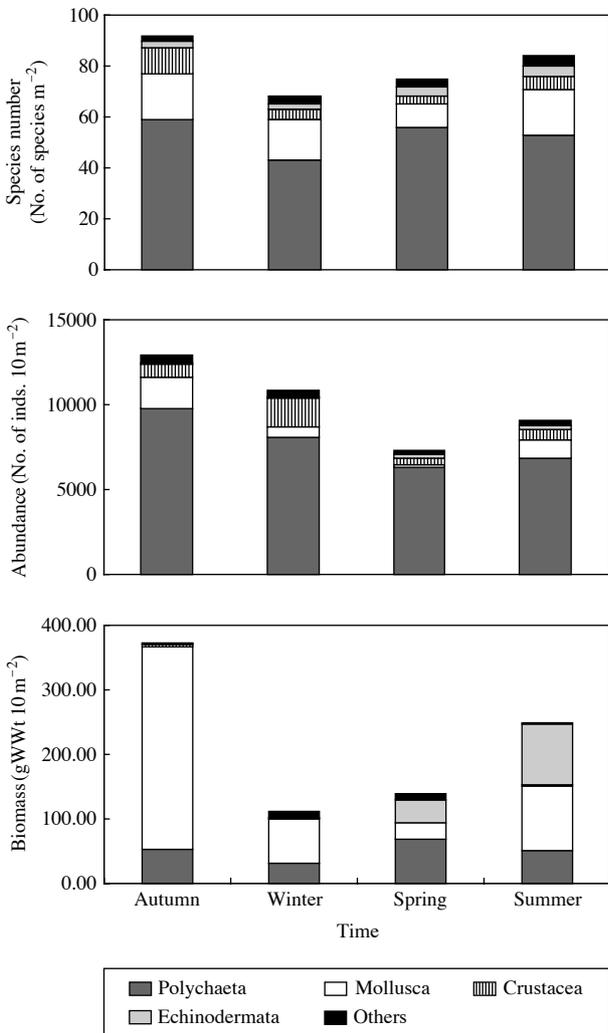
조사해역의 수심은 8m(정점 3)에서 49m(정점 9)의 범위에 전반적으로 연안역에서 외해역으로 향할수록 수심이 증가하였다. 수온은 계절별 평균 12.6~27.4°C의 범위에 동계에 낮았고, 하계에 높아 온대해역에서의 일반적인 경향을 나타내었다. 정점별로는 온배수가 배출되는 정점 4의 수온이 주변해역 정점의 그것과 비교하여 상대적으로 높았으나 차이는 크지 않았다. 반면 염분농도는 하계에 평균 31.40 psu로 가장 낮았고, 이 밖의 시기에는 33.7~33.8 psu의 범위 내외로 차이가 크지 않았다. 하계의 낮은 염분농도는 조사 기간 중 강우에 의한 담수유입의 효과로 추정할 수 있었다. 퇴적물의 평균입도는 평균 최소 1.24  $\Phi$ 에서 최대 9.41  $\Phi$ 의 범위에 배수구 인근의 정점 4에서 가장 조립하였고, 외해역의 정점 10에서 가장 세립하였다. 분급도는 0.78~3.52  $\Phi$ 의 범위에 정점 4에서 가장 양호하였고, 정점 2에서 가장 불량하였다. 대형저서동물의 서식기질로서 퇴적물의 펄·모래함량을 보면, 정점 4, 7과 8은 모래함량이 높았던 반면 정점 6, 9와 10은 펄함량이 상대적으로 많았다. 이 외에 정점 1, 2, 3과 5는 혼합질 퇴적상을 나타내었고, 계절에 따른 펄 및 모래의 함량변화가 상대적으로 컸다. 또한 퇴적물의 구성에 영향을 받는 유기물함량(강열감량, IL)은 모래함량이 많은 정점군에서 낮았고, 펄함량이 높은 정점군에서 반대의 경향을 보였다(Table 1).

### 2. 출현 종수 및 생물량(개체수 및 생체량)

본 조사해역에서 출현한 대형저서동물은 163종 4.0 m<sup>-2</sup>, 40,200개체(1,005개체 m<sup>-2</sup>)와 872.31 gWWt(21.81 gWWt m<sup>-2</sup>)이었다. 출현 종수는 환경동물문의 다모류가

**Table 1.** Summary of physical and sedimentological parameters at each station around the Wolsong Nuclear Power Plant, East Sea of Korea

| Station/<br>parameter | Depth<br>(m) | Distance from<br>discharge (km) | Water<br>temperature (°C) | Salinity<br>(psu) | Sediment content (%) |             |             | Mean<br>phi (Φ) | Sorting<br>(Φ) | IL (%)     |
|-----------------------|--------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------|----------------------|-------------|-------------|-----------------|----------------|------------|
|                       |              |                                 |                           |                   | Gravel               | Sand        | Mud         |                 |                |            |
| 1                     | 47           | 1.0                             | 19.82±6.30                | 32.90±2.31        | —                    | 62.38±27.81 | 37.62±27.81 | 5.26±1.87       | 2.89±0.70      | 5.34±3.03  |
| 2                     | 11           | 0.5                             | 19.75±6.31                | 33.19±1.89        | —                    | 60.02±7.66  | 39.99±7.66  | 5.22±0.47       | 3.52±0.15      | 5.23±1.00  |
| 3                     | 8            | 0.0                             | 19.79±5.66                | 33.24±1.83        | 0.48±0.33            | 79.02±17.93 | 20.50±18.12 | 3.53±1.70       | 2.37±1.21      | 3.78±2.56  |
| 4                     | 10           | 0.0                             | 19.59±5.22                | 33.64±1.17        | 1.76±3.12            | 97.81±2.85  | 0.44±0.44   | 1.24±0.67       | 0.78±0.17      | 1.26±0.19  |
| 5                     | 29           | 0.5                             | 20.04±5.83                | 33.22±1.11        | —                    | 31.14±23.30 | 68.86±23.30 | 7.15±1.58       | 3.21±0.30      | 7.59±2.59  |
| 6                     | 36           | 1.0                             | 20.05±5.91                | 33.16±1.94        | —                    | 6.63±3.42   | 93.37±3.42  | 8.66±0.20       | 2.74±0.20      | 9.90±0.73  |
| 7                     | 11           | 0.5                             | 20.60±5.52                | 33.19±0.68        | 7.24±14.49           | 90.56±13.25 | 2.20±2.47   | 2.10±1.14       | 1.23±0.39      | 1.44±0.51  |
| 8                     | 12           | 1.0                             | 20.40±5.79                | 33.43±1.41        | —                    | 92.28±5.29  | 7.72±5.29   | 3.06±0.28       | 1.79±0.73      | 2.11±0.73  |
| 9                     | 49           | 2.0                             | 19.63±5.48                | 32.10±1.36        | —                    | 1.10±1.51   | 98.90±1.51  | 9.35±0.18       | 2.40±0.03      | 10.14±0.82 |
| 10                    | 39           | 4.0                             | 19.28±6.44                | 32.73±1.57        | —                    | 1.37±1.59   | 98.63±1.59  | 9.41±0.23       | 2.36±0.13      | 10.14±0.67 |
| Autumn                | —            | —                               | 21.04±0.42                | 33.32±0.16        | —                    | —           | —           | —               | —              | —          |
| Winter                | —            | —                               | 14.35±0.66                | 33.38±0.20        | —                    | —           | —           | —               | —              | —          |
| Spring                | —            | —                               | 16.60±0.73                | 34.55±1.11        | —                    | —           | —           | —               | —              | —          |
| Summer                | —            | —                               | 27.59±0.63                | 31.07±0.91        | —                    | —           | —           | —               | —              | —          |



**Fig. 2.** Total species number, abundance and biomass of macrobenthic animals around the Wolsong Nuclear Power Plant, East Sea of Korea.

93종이 채집되어 전체의 57.06%를 점유하였고, 다음으로 연체동물문이 37종, 22.70%를 차지하였다. 이 외에 절지동물문의 갑각류와 극피동물문은 각각 16종과 10종이 출현하여 9.82%와 6.13%를 나타낸 반면, 기타동물군은 7종, 4.29%로 점유율이 낮았다. 조사 시기별로는 68~92종의 범위에 조사 시기 당 평균 80종이 출현하였다. 동계에 가장 적었고, 추계에 가장 많았다. 이 밖에 하계에 84종이 출현하여 상대적으로 다양하였다(Fig. 2). 각 시기별 정점에 따른 평균 출현 종수는 5~30종의 범위에 정점 9에서 가장 적었고, 정점 2에서 가장 많았다. 이 밖에 정점 1, 7과 8에서 20종 이상이 출현하여 상대적으로 다양하였다. 그러나 외해역에 위치한 정점 9와 10을 제외하면, 정점 별 평균 출현 종수의 변화는 전반적으로 비교적 심한 것으로 파악되었다(Fig. 3).

개체수에 있어서도 다모류는 31,040개체의 밀도를 나타내 77.21%의 높은 점유율을 보였고, 다음으로 연체동물문, 갑각류 및 기타동물문의 순서로 3,630개체 (9.03%), 3,440개체 (8.56%) 및 1,460개체 (3.63%)가 출현하였다. 이 외에 극피동물문은 630개체, 1.57%로 점유율이 상대적으로 낮았다. 조사 시기에 따라서는 최소 7,330개체 (춘계)에서 최대 12,900개체 (추계)의 범위에 조사 시기 당 평균 10,050개체가 채집되었다(Fig. 2). 각 시기별 정점에 따른 평균 출현 개체수는 최소 130개체 m<sup>-2</sup> (정점 6)에서 최대 2,423개체 m<sup>-2</sup> (정점 8)의 범위를 보였다. 이 외에 정점 1, 2, 4와 7에서 1,000개체 m<sup>-2</sup> 이상의 밀도를 보여 상대적으로 많았다. 상기 4개 정점에서의 출현 개체수 변화는 시기별로 매우 차이가 크게 나타났다(Fig. 3).

생체량에 있어서는 단일 개체의 중량이 높은 연체동물문이 508.06 gWWt을 나타내 58.24%를 차지하였고, 다

음으로 다모류와 극피동물문이 각각 202.55 gWWt, 23.22 %와 133.90 gWWt, 15.35%를 점유하였다. 이 밖에 기타 동물군은 20.70 gWWt을 나타내 2.37%를 차지한 반면, 갑각류는 7.10 gWWt, 0.81%로 점유율이 매우 낮았다. 조사 시기별로는 110.86~373.08 gWWt의 범위 (평균

218.08 gWWt)에 동계에 가장 낮았고, 추계에 가장 높았다 (Fig. 2). 각 시기별 정점에 따른 평균 생체량은 1.09~64.58 gWWt m<sup>-2</sup>의 범위에 정점 9에서 가장 낮았고, 정점 2에서 가장 높아 출현 종수의 그것과 동일하였다. 이 밖에 정점 5에서 평균 48.38 gWWt m<sup>-2</sup>을 나타내 상대적으로 높았으나, 그 변화폭은 컸다 (Fig. 3).

한편 상기의 무기 환경요인과 생물학적 인자(출현 종수, 개체수 밀 생체량)의 상관성을 파악한 결과, 출현 종수와 개체수는 모래함량과는 양의 상관성을 나타낸 반면, 펄함량 및 수심과는 음의 상관성을 나타내었다 (Table 2).

3. 우점종

개체수, 생체량 및 그 출현 빈도를 고려하여 우점종을 선정하는 LeBris index (1988)을 이용하여 상위 10위까지의 우점종을 파악하였다. 개체수에 있어서는 다모류와 연체동물문이 각각 6종과 2종으로 많았고, 다음으로 갑각류와 기타동물군의 유형동물문이 공통적으로 1종씩 상위에 위치하고 있었다. 이들을 최우선 순위별로 나열해 보면, 갑각류의 단각류에 속하는 미동정 옆새우류 (Amphipoda spp.), 다모류의 투구갯지렁이 (*Sigambra tentaculata*), 민얼굴갯지렁이 (*Spiophanes bombyx*), 양손갯지렁이 (*Magelona japonica*), *Mediomastus californiensis*, 긴자락송곳갯지렁이 (*Scoletoma longifolia*), 유형동물문의 *Micrura* sp., 연체동물문 이매패류의 말발조개 (*Thyasira tokunagai*), 다모류의 납작백금갯지렁이 (*Aglaophamus sinensis*) 및 이매패류의 쇠개량조개 (*Raetellops pulchella*) 등이었다. 이들 상위 10위종들이 차지하는 밀도는 총 27,740개체로 전체의 69.00%를 점유하였다. 특히 민얼굴갯지렁이는 13,970개체의 밀도를 나타내 단일 종으로 가장 높은 34.75%를 점유하였고, 다음으로 *M. californiensis*, 미동정 옆새우류 및 투구갯지렁이의 순서로 각각 3,290개체 (8.18%), 2,870개체 (7.14%) 및 2,190개체

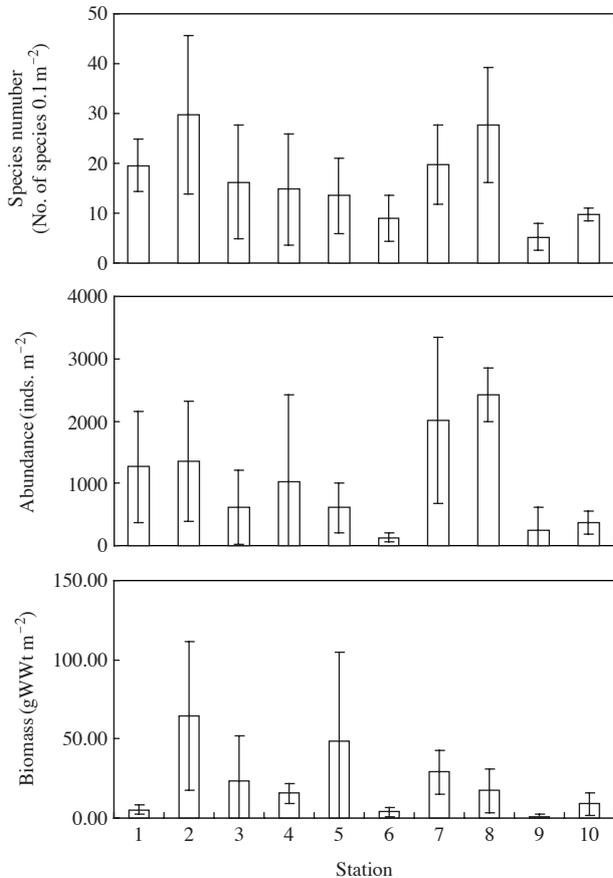


Fig. 3. Spatial variation of mean species number, abundance and biomass of macrobenthic animals at each station around the Wolsong Nuclear Power Plant, East Sea of Korea.

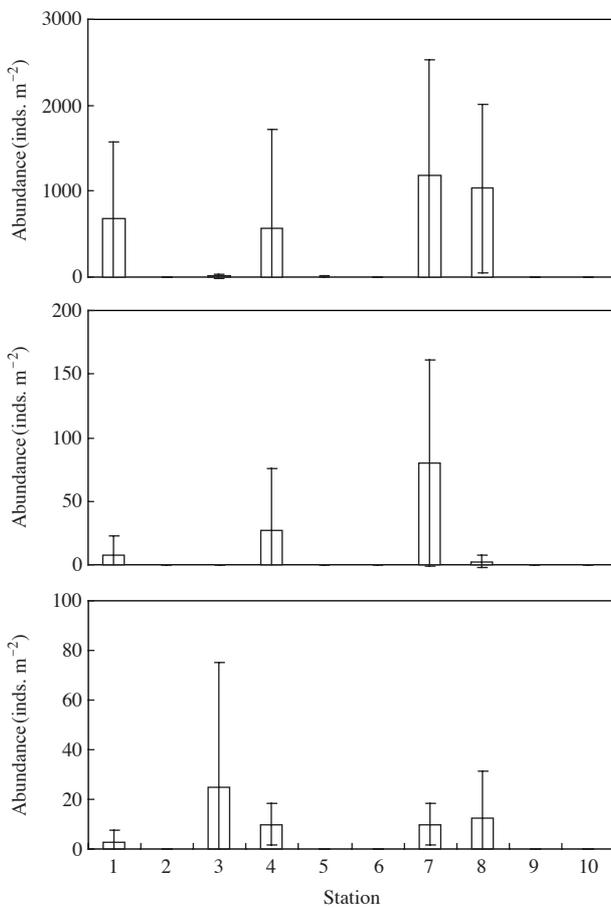
Table 2. Pearson correlation coefficients within the environmental and biological parameters (\*p<0.05, \*\*p<0.01)

|                            | Gravel % | Sand %   | Mud %    | Mz       | Sv       | Depth    | Wt       | Salinity | pH      | Species No. | Abundance | Biomass  |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|-------------|-----------|----------|
| Gravel %                   | 1.000    | 0.125    | -0.238   | -0.337*  | -0.243   | -0.191   | -0.045   | 0.056    | 0.608** | 0.145       | 0.082     | 0.127    |
| Sand %                     | 0.125    | 1.000    | -0.993** | -0.967** | -0.528** | -0.753** | 0.013    | 0.211    | -0.085  | 0.423**     | 0.565**   | 0.185    |
| Mud %                      | -0.238   | -0.993** | 1.000    | 0.985**  | 0.545**  | 0.759**  | -0.007   | -0.213   | 0.012   | -0.431**    | -0.563**  | -0.196   |
| Mean phi (Mz, Φ)           | -0.337*  | -0.967** | 0.985**  | 1.000    | 0.594**  | 0.769**  | 0.010    | -0.240   | -0.042  | -0.385*     | -0.510**  | -0.207   |
| Sorting value (Sv, Φ)      | -0.243   | -0.528** | 0.545**  | 0.594**  | 1.000    | 0.347*   | 0.148    | -0.204   | 0.039   | 0.207       | -0.185    | 0.187    |
| Depth (m)                  | -0.191   | -0.753** | 0.759**  | 0.769**  | 0.347*   | 1.000    | -0.028   | -0.221   | -0.073  | -0.433**    | -0.408**  | -0.365** |
| Water temperature (Wt, °C) | -0.045   | 0.013    | -0.007   | 0.010    | 0.148    | -0.028   | 1.000    | -0.749** | 0.490** | 0.126       | 0.025     | 0.231    |
| Salinity (psu)             | 0.056    | 0.211    | -0.213   | -0.240   | -0.204   | -0.221   | -0.749** | 1.000    | -0.238  | 0.081       | 0.138     | -0.058   |
| pH                         | 0.608**  | -0.085   | 0.012    | -0.042   | 0.039    | -0.073   | 0.490**  | -0.238   | 1.000   | 0.095       | -0.085    | 0.089    |
| Species number             | 0.145    | 0.423**  | -0.431** | -0.385*  | 0.207    | -0.433** | 0.126    | 0.081    | 0.095   | 1.000       | 0.727**   | 0.382*   |
| Abundance                  | 0.082    | 0.565**  | -0.563** | -0.510** | -0.185   | -0.408** | 0.025    | 0.138    | -0.085  | 0.727**     | 1.000     | 0.187    |
| Biomass                    | 0.127    | 0.185    | -0.196   | -0.207   | 0.187    | -0.365*  | 0.231    | -0.058   | 0.089   | 0.382*      | 0.187     | 1.000    |

**Table 3.** Dominant species ranking based on the abundance data by LeBris index (1988) around the Wolsong Nuclear Power Plant, East Sea of Korea

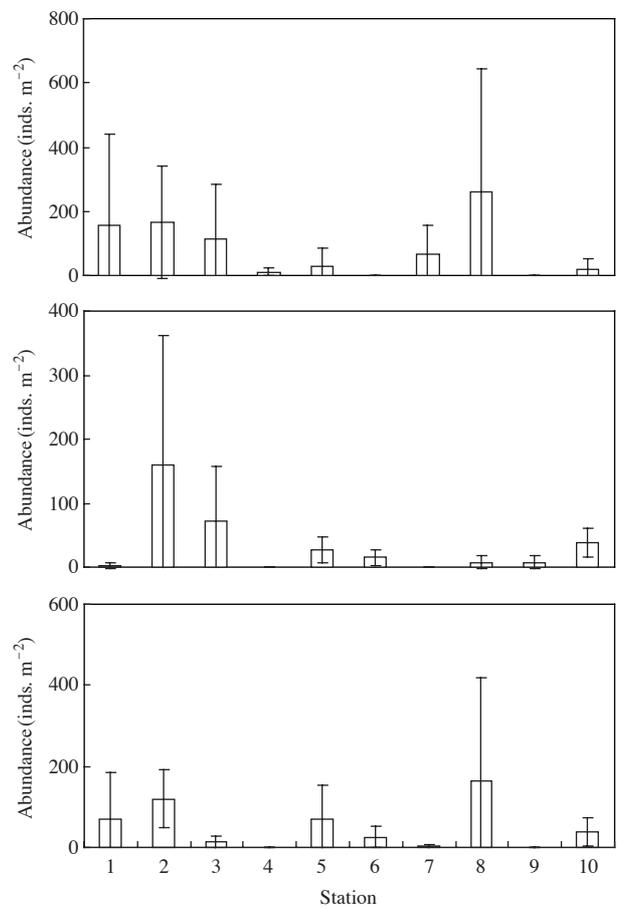
| Rank | Taxon | Species name                      | Total abundance | Mean density (inds. m <sup>-2</sup> ± Std.) | % of total individuals | Frequency of occurrence | LeBris index |
|------|-------|-----------------------------------|-----------------|---|------------------------|-------------------------|--------------|
| 1    | CAM   | Amphipoda spp.                    | 2,870           | 72 ± 127                                    | 7.14                   | 34                      | 74,818.67    |
| 2    | APOL  | <i>Sigambra tentaculata</i>       | 2,190           | 55 ± 76                                     | 5.45                   | 28                      | 70,148.24    |
| 3    | APOL  | <i>Spiophanes bombyx</i>          | 13,970          | 349 ± 764                                   | 34.75                  | 16                      | 63,372.57    |
| 4    | APOL  | <i>Magelona japonica</i>          | 2,000           | 50 ± 100                                    | 4.98                   | 21                      | 35,316.73    |
| 5    | APOL  | <i>Mediomastus californiensis</i> | 3,290           | 82 ± 174                                    | 8.18                   | 20                      | 28,710.09    |
| 6    | APOL  | <i>Scoletoma longifolia</i>       | 1,320           | 33 ± 78                                     | 3.28                   | 21                      | 27,688.08    |
| 7    | ONE   | <i>Micrura</i> sp.                | 710             | 18 ± 26                                     | 1.77                   | 21                      | 13,532.30    |
| 8    | MBI   | <i>Thyasira tokunagai</i>         | 350             | 9 ± 18                                      | 0.87                   | 14                      | 10,001.63    |
| 9    | APOL  | <i>Aglaophamus sinensis</i>       | 300             | 8 ± 18                                      | 0.75                   | 11                      | 5,177.30     |
| 10   | MBI   | <i>Raetellops pulchella</i>       | 740             | 19 ± 76                                     | 1.84                   | 7                       | 5,066.28     |

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



**Fig. 4.** Spatial variation of number of individuals 3 sand dominated species at each station around the Wolsong Nuclear Power Plant, East Sea of Korea (upper, *Spiophanes bombyx*; middle, *Siliqua pulchella*; lower, *Mactra chinensis*).

(5.45%)가 출현하였다(Table 3). 한편 주요 우점종의 공간분포 양상을 보면, 민얼굴갯지렁이는 모래함량이 높은 정점 1, 4, 7과 8에서 밀도가 높았고, 계절에 따른 출현



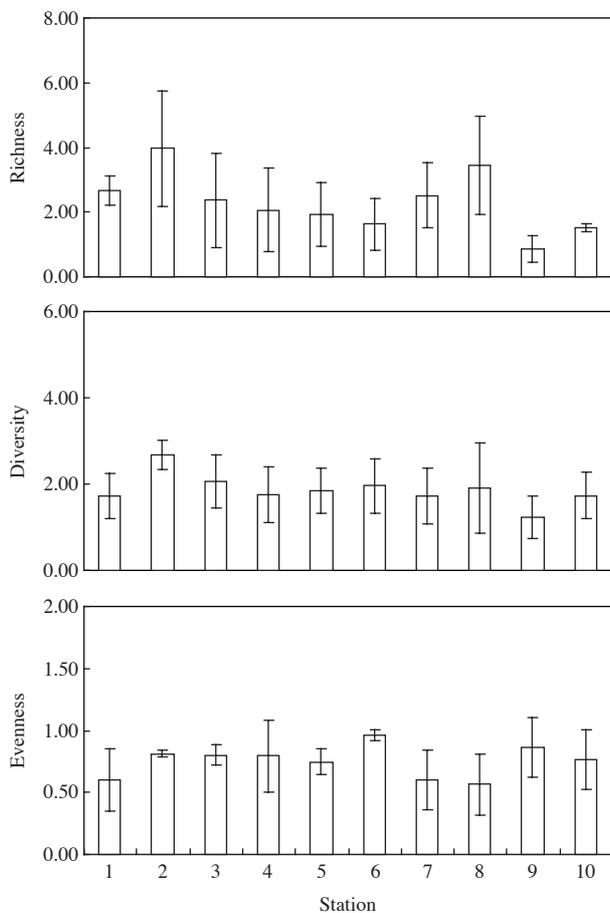
**Fig. 5.** Spatial variation of number of individuals 3 mud dominated species at each station around the Wolsong Nuclear Power Plant, East Sea of Korea (upper, *Mediomastus californiensis*; middle, *Scoletoma longifolia*; lower, *Magelona japonica*).

밀도의 변화 폭이 매우 컸다. 이 외에 이매패류의 꼬마보라맛조개 (*Siliqua pulchella*) 및 개랑조개 (*Mactra chinensis*)도 동일한 정점에서 우세하게 출현하고 있어 민얼굴

**Table 4.** Dominant species ranking based on the biomass data by LeBris index (1988) around the Wolsong Nuclear Power Plant, East Sea of Korea

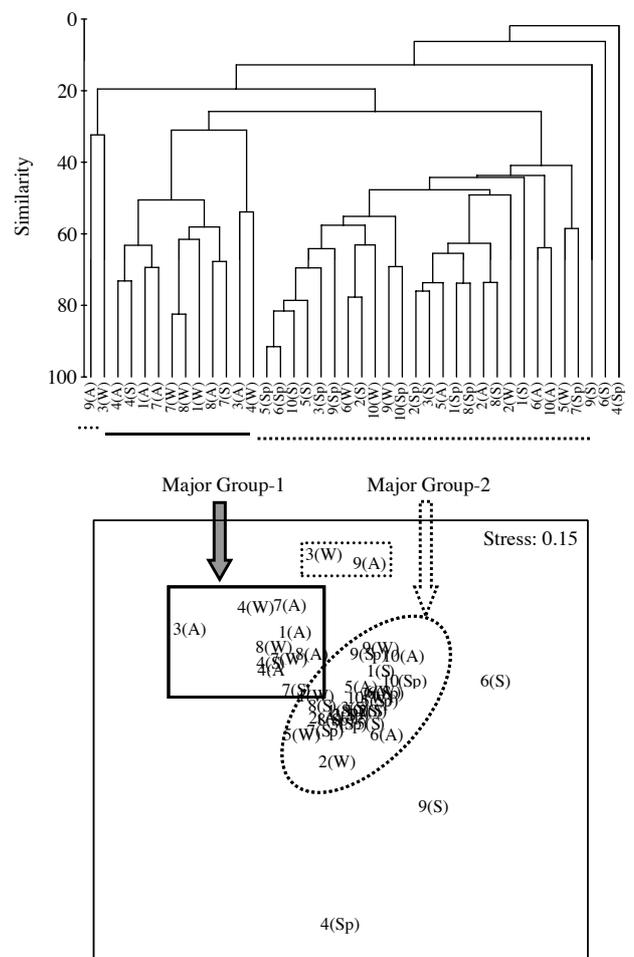
| Rank | Taxon | Species name                 | Total biomass | Mean biomass (gWWt m <sup>-2</sup> ± Std.) | % of total biomass | Frequency of occurrence | LeBris index |
|------|-------|------------------------------|---------------|--|--------------------|-------------------------|--------------|
| 1    | APOL  | <i>Magelona japonica</i>     | 30.35         | 0.76 ± 1.76                                | 3.48               | 21                      | 33,749.73    |
| 2    | APOL  | <i>Spiophanes bombyx</i>     | 31.01         | 0.78 ± 2.03                                | 3.55               | 16                      | 32,036.43    |
| 3    | APOL  | <i>Sigambra tentaculata</i>  | 3.54          | 0.09 ± 0.11                                | 0.41               | 28                      | 24,125.72    |
| 4    | APOL  | <i>Scoletoma longifolia</i>  | 16.05         | 0.40 ± 0.84                                | 1.84               | 21                      | 23,925.73    |
| 5    | MBI   | <i>Siliqua pulchella</i>     | 66.40         | 1.66 ± 5.43                                | 7.61               | 7                       | 14,760.76    |
| 6    | CAM   | Amphipoda spp.               | 2.88          | 0.07 ± 0.09                                | 0.33               | 34                      | 12,797.97    |
| 7    | MBI   | <i>Mactra chinensis</i>      | 69.20         | 1.73 ± 9.41                                | 7.93               | 10                      | 12,032.98    |
| 8    | MBI   | <i>Raetellops pulchella</i>  | 34.70         | 0.87 ± 3.27                                | 3.98               | 7                       | 9,391.24     |
| 9    | APOL  | <i>Glycera chirori</i>       | 13.64         | 0.34 ± 0.94                                | 1.56               | 12                      | 9,237.56     |
| 10   | APOL  | <i>Notomastus latericeus</i> | 13.48         | 0.34 ± 0.89                                | 1.55               | 13                      | 5,651.15     |

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



**Fig. 6.** Spatial variation of species richness, species diversity and evenness of macrobenthic animals at each station around the Wolsong Nuclear Power Plant, East Sea of Korea.

갯지렁이의 공간분포 양상과 유사하였다 (Fig. 4). 반면 버들갯지렁이류인 *Mediomastus californiensis*, 긴자락송곳갯지렁이와 양손갯지렁이는 다양한 기질과 폭 넓은 공간적 분포범위를 보였다. 그러나 전반적인 분포양상은



**Fig. 7.** Dendrograms for hierarchical clustering (upper) and 2-dimensional nMDS configuration (lower), using group-average linkage by Bray-Curtis similarities calculated on the fourth-root transformed abundance data around the Wolsong Nuclear Power Plant, East Sea of Korea.

펼침량이 상대적으로 높은 정점군 (2, 5, 6, 8, 9 및 10)에서 밀도가 높았다 (Fig. 5).

**Table 5.** A comparison of each faunal group with biological component around the Wolseong Nuclear Power Plant, East Sea of Korea

|  | Major groups  |                                   | Minor group and stations |               |               |               |
|--|---|-----------------------------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|
|  | Group 1   | Group 2                           | Group 3                  | St.4 (Spring) | St.6 (Summer) | St.9 (Summer) |
| Number of stations                         | 11  | 24                                | 2                        | 1             | 1             | 1             |
| Species number (spp. 0.1 m <sup>-2</sup> ) | 18±8  | 18±12                             | 8±6                      | 5             | 3             | 2             |
| Abundance (inds. m <sup>-2</sup> )         | 1,792±1,194   | 840±776                           | 110±99                   | 50            | 30            | 20            |
| Biomass (gWWt m <sup>-2</sup> )            | 18.17±17.73   | 26.87±36.04                       | 2.10±2.43                | 23.23         | 0.15          | 0.03          |
| Species richness                           | 2.27±0.96   | 2.58±1.41                         | 1.47±0.92                | 1.02          | 0.59          | 0.33          |
| Species diversity                          | 1.44±0.52   | 2.15±0.56                         | 1.84±0.64                | 1.61          | 1.10          | 0.69          |
| Evenness                                   | 0.56±0.24   | 0.79±0.14                         | 0.96±0.06                | 1.00          | 1.00          | 1.00          |
| Dominant species                           | (common species) Amphipoda spp., <i>Spiophanes bombyx</i> |                                   | -                        | -             | -             | -             |
|  | <i>Protodorvillea egena</i>                               | <i>Mediomastus californiensis</i> | -                        | -             | -             | -             |
|  | <i>Siliqua pulchella</i>                                  | <i>Sigambra tentaculata</i>       | -                        | -             | -             | -             |
|  | <i>Maetra chinensis</i>                                   | <i>Magelona japonica</i>          | -                        | -             | -             | -             |
|  | -   | <i>Scoletoma longifolia</i>       | -                        | -             | -             | -             |
|  | -   | <i>Raetellops pulchella</i>       | -                        | -             | -             | -             |
|  | -   | <i>Notomastus latericeus</i>      | -                        | -             | -             | -             |

생체량에 있어서도 다모류는 6종으로 가장 다양한 종이 상위에서 서열되었고, 다음으로 연체동물문과 갑각류가 각각 3종과 1종이 상위에서 서열되었다. 이들을 최우선 순위별로 나열하면, 다모류의 양손갯지렁이, 민얼굴갯지렁이, 투구갯지렁이, 긴자락송곳갯지렁이, 이매패류의 꼬마보라맛조개, 미동정 옆새우류, 이매패류의 개량조개, 쇠개량조개, 다모류의 치로리미갯지렁이 (*Glycera chirori*) 및 가는버들갯지렁이 (*Notomastus latericeus*) 등이었다. 이들 상위 10위 우점종들은 총 281.25 gWWt의 생체량을 나타내 32.24%를 점유하였다. 이 가운데 패각을 포함하기 때문에 단일 개체의 중량이 높은 개량조개와 꼬마보라맛조개가 각각 69.20 gWWt, 7.93%와 66.40 gWWt, 7.61%를 차지해 가장 우점하는 생물이었다(Table 4).

**4. 생태학적 제 지수 및 군집구조**

대형저서동물의 출현 개체수 자료를 기초로 생태학적 지수를 분석하였다. 종 풍부도는 0.33~6.57의 범위에 하계의 정점 9에서 가장 낮았고, 추계의 정점 2에서 가장 높았다. 한편 조사 전 시기를 고려할 때, 정점 당 평균 종 풍부도는 2.29이었고, 이 중 정점 9에서 평균 0.86으로 가장 낮은 값을 나타낸 반면 정점 2에서 3.97로 가장 높았다. 이 외에도 정점 8에서 평균 3.45로 높았다. 종 다양도는 최소 0.69(하계의 정점 9)에서 최대 3.11(추계의 정점 2와 하계의 정점 8)의 범위이었다. 조사 시기에 따른 정점 당 평균 종 다양도는 1.86이었고, 정점 9에서 평균 1.23으로 가장 낮았으며, 정점 2에서 2.67로 가장 높았다. 균등도는 출현 종들이 동일한 밀도를 나타내 1.00의 수치를 나타낸 일부 정점을 제외하면, 0.32~0.97의 범위에 추계의 정점 8에서 가장 낮았고,

동계의 정점 4에서 가장 높았다. 특히 추계에 정점 8에서의 낮은 균등도 수치는 민얼굴갯지렁이의 대량 출현에 기인한 결과이었다(Fig. 6).

대형저서동물 군집의 구조를 파악하기 위하여 Bray and Curtis (1957)의 유사도 지수를 계산하여 수지도와 다차원배열법으로 표시하였다(Fig. 7). 분석에서는 전체 출현 개체수(40,200개체)의 0.50% 이상(230개체)을 점유하는 23종을 대상으로 하였고, 원자료는 fourth-root로 변환하였다. 또한 모든 시기와 정점에서 공통적으로 높은 밀도를 나타낸 민얼굴갯지렁이는 분석에서 제외하였다. 유사도 분석 결과, 크게 2개의 주정점군을 포함하여 1개의 소정점군(추계의 정점 9와 동계의 정점 3) 및 3개의 개별 정점(춘계의 정점 4 및 하계의 정점 6과 9)으로 구분되었다. 이 가운데 주정점군 1은 총 11개 정점으로 구성되었고, 추계의 정점 1, 3, 4, 7, 8, 동계의 정점 1, 4, 7, 8 및 하계의 정점 4와 7이 포함되었다. 정점군 2는 정점군 1과 소정점군(동계의 정점 3과 추계의 정점 9)을 제외한 총 23개 정점으로 이루어졌다(Table 5). 한편 주정점군의 무기 환경적인 특성을 보면, 정점군 1은 모래함량이 우세하여 유기물 함량이 낮았고, 퇴적물의 분급도가 상대적으로 양호한 정점들로 구성되었다. 그러나 정점군 2는 반대로 펄함량이 우세하여 유기물 함량이 높았고, 분급도가 불량하다는 특징이 있었다. 반면 대형저서동물 군집의 관점에서 소정점군과 3개의 개별 정점은 전반적으로 생물다양성이나 그 출현 밀도가 빈약하다는 공통점이 있었다. 이를 제외한 정점군 1은 다모류의 *Protodorvillea egena*, 이매패류의 개량조개와 꼬마보라맛조개가 우점하였다. 반면 정점군 2는 다모류의 *M. californiensis*, 양손갯지렁이, 오투기갯지렁이, 긴자락송곳갯지렁이 및 이매패류의 말발조개와 아기반투명조개

(*Theora fragilis*) 등의 밀도가 상대적으로 높았다. 이상에서 본 조사해역에 출현한 대형저서동물 군집의 서식기질, 수심 및 온배수 배출에 따른 개체수의 차이유무를 파악하기 위하여 일원일차분산분석을 실시한 결과, 본 연구해역에 출현한 대형저서동물 군집은 상기의 무기 환경요인에 대하여 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ).

## 고찰

### 1. 환경요인

동해 연안은 서·남해안과 비교하여 조석의 영향보다는 파랑이 우세하게 작용하는 물리적 특징을 가진다. 또한 해안선을 따라서 모래해빈이 발달하고 연안역의 조하대에서도 모래함량이 상대적으로 높다(최 등 2000; Kim *et al.* 2001; 백 등 2007). 특히 수심에 따라서 20m를 기준으로 이보다 낮은 수심의 연안역에서는 상대적으로 모래함량이 많고, 반대로 깊은 수심의 정점에서는 펄함량이 많아 외해로 향할수록 점차 세립해지는 양상을 보인다(백 등 2007). 본 연구해역도 이러한 경향을 반영하여 연안역에서 약 500m 이상 떨어진 정점에서부터 20m 이상의 수심을 나타내며, 퇴적상도 펄함량이 많아지는 공통적인 현상을 보였다. 한편 퇴적물의 입도에 좌우되는 유기물 함량도 펄 또는 모래함량의 많고 적음의 정도에 따라 높고 낮은 값을 가지는 유사한 경향을 보였다(Snelgrove and Butman 1994). 즉 수심 20m 이하의 연안역에서는 평균 2.76%의 수치를 나타내 낮았고, 그 이상 수심의 외해역에서는 평균 8.62%를 나타내 상대적으로 높았다.

지금까지 대부분의 대형저서동물 군집 연구에서 퇴적물의 분급도는 군집구조의 차이를 해석함에 있어 중요한 인자로 고려되지 않았다. 그럼에도 불구하고, 일부 연구에서는 분급도가 특정 생물군 및 군집 간의 차이를 잘 반영하는 환경인자로 제안된 바 있다(Nichols 1970; Flint 1981). 또한 Gray (1974)도 퇴적물 구조의 복잡도를 반영하는 분급도는 종 다양도를 결정하는 중요인자로 특정 생태계에서 높은 종 다양도 수치는 분급이 좋지 않은 퇴적물에서 나타났다고 보고하였다. 즉 분급도가 불량하다는 것은 크기가 서로 다른 입자가 다양하게 분포하는 것을 의미하며, 이것은 서식처로서의 다양성이 높다는 것을 반증하기 때문이다. 그러나 본 연구해역은 정점 4(0.78  $\Phi$ )를 제외한 모든 정점에서 전반적으로 분급도가 불량함에도 불구하고, 종 다양성은 상대적으로 높지 않았다. 이와 같은 결과는 일부 정점을 제외한 대다

수의 정점들이 모래 또는 펄함량이 높은 균질한 퇴적물(homogeneous sediment)로 구성되었다는 점에 그 원인이 있는 것으로 추정된다.

### 2. 출현 종수 및 생물량

본 연구해역에서 출현한 대형저서동물은 총 163종  $4\text{m}^{-2}$ 이었고, 단위면적당( $\text{m}^2$ ) 개체수와 생체량은 1,005개체와 21.81 gWWt이었다. 출현 종수와 개체수는 다모류가 93종과 31,040개체의 밀도를 나타내 전체의 1/2을 상회하였다. 생체량에 있어서는 연체동물문이 508.06 gWWt을 나타내 58.24%를 차지하였다. 한편 본 연구해역에서 출현한 163종은 강릉 연안해역의 163종(최 등 2000)과 동일하였고, 후포 주변해역의 319종(백 등 2007), 고리 주변해역의 218종(손 2006) 및 215종(신 2007)과 비교해 상대적으로 적었다. 반면 울산만과 온산만에서의 117종(신 등 2001)보다는 많았다. 특히 조사정점의 공간적인 차이는 있지만 동일한 해역에서 조사된 원자력발전소 가동 초기인 1986년부터 1989년까지 출현한 대형저서동물은 40~67종의 범위를 보여 빈약하였다. 그러나 이후 비교적 최근까지는 160종 이상이 출현하여 본 결과와 유사하였다(한국전력공사 전력연구원 2008). 이렇듯 출현 종수는 강릉, 후포 및 고리 원자력발전소 주변해역 등 산업단지의 입지 등으로 인한 인위적인 교란이 없는 지역과 비교해 상대적으로 적거나 유사한 수준을 보였다. 그러나 대도시 및 산업단지가 입지한 내만해역의 그것과 비교해서는 다양하였다. 상기와 같이 내만을 제외한 해역에서의 높은 출현 종수는 일반적으로 채집시기와 면적 및 연구자의 종 동정강도 차이에서 발생하는 원인이 크다. 그러나 본 연구의 경우 공간적으로 주로 취수구와 배수구 인근 및 파랑의 영향을 상대적으로 많이 수용하는 연안역에 조사 정점들이 집중되어 있다는 점에서 기인하는 바가 크다고 판단된다. 또한 퇴적물 조성에 있어서도 정점 1, 2, 3과 5를 제외하면, 비교적 모래 또는 펄 등 단일한 퇴적물로 구성되어 있다는 점에서 기질의 동질성(homogeneity)에 그 원인이 있는 것으로 추정된다. 특히 90% 이상의 균일한 모래 혹은 펄로만 구성된 정점 4, 6, 7, 8, 9 및 10에서의 낮은 출현 종수가 이를 입증하고 있다. 또한 단위면적당( $\text{m}^2$ ) 개체수는 본 조사에서 1,005개체가 채집되어 울산만과 온산만의 535개체(신 등 2001), 고리 원자력발전소 주변해역의 727개체(손 2006)와 722개체(신 2007)보다 많았다. 또한 동일해역에서 수행된 결과에서도 1994년에 2,518개체  $\text{m}^{-2}$ 로 가장 많았고, 전반적으로 원자력발전소 가동 초기와 비교해 매우 증가한 양상을 보였다(한국전력공

사 전력연구원 2008). 반면 강릉 연안해역의 1,168개체(최 등 2000)와 후포 주변해역의 1,972개체(백 등 2007)보다는 상대적으로 적었다. 이상을 종합하면 본 연구해역은 원자력발전소가 입지한 특수한 환경에 있음에도 불구하고, 생물다양성 및 개체수가 상대적으로 적지 않아 동해안에서 수행된 기 연구 결과와 유사하게 대형저서동물의 관점에서 환경적으로 비교적 건강한 상태에 있다고 추정된다(최 등 2000; 백 등 2007).

### 3. 우점종

동해 연안해역 연성기질에서 출현하는 주요 우점종을 보면, 서식기질의 특성에 따라 모래가 많은 강릉 연안해역, 후포 주변해역, 울진 해역에서는 공통적으로 다모류의 삼각모자갯지렁이(*Scoloplos armiger*), 민얼굴갯지렁이, 북방백갯지렁이(*Nephtys caeca*), 실참갯지렁이(*Tylorrhynchus heterochaetus*) 및 절지동물문 단각류의 Urothoidae spp. 등이 높은 밀도를 보였다. 반면 펄이 많은 영일만, 울산 연안해역과 고리 연안해역에서는 긴자락송곳갯지렁이, 양손갯지렁이, 오투기갯지렁이, *Pseudoploydora* sp., 긴얼굴갯지렁이(*Polydora ciliata*) 및 이매패류의 *Theora lata* 등이 특징적으로 출현하고 있었다. 본 연구해역과 동일한 월성 주변해역에서도 민얼굴갯지렁이가 발전소 가동 초기부터 우점하였고, 이 후 양손갯지렁이, 긴자락송곳갯지렁이 및 오투기갯지렁이 등이 우점하여 유사하였다. 또한 왜호두조개류, 집시조개류, 쇠개량조개 및 아기반투명조개도 꾸준히 출현하는 대표적 종으로 조사되어 시간경과에 따라 전반적으로 차이가 없었다(한국전력공사 전력연구원 2008).

일반적으로 연성기질에 서식하는 대형저서동물 군집은 퇴적물의 입도 구성에 의하여 일차적으로 결정되며, 이러한 기질의 특성이 대형저서동물의 행동이나 먹이섭식 유형에 지대한 영향을 미치고 있다(이와 허 1988; Levinton 1995). 즉 모래함량이 높은 해역에서는 부유물식성의 생물, 반대로 펄함량이 높은 해역에서는 퇴적물식성의 구성비율이 높다(Gray 1981). 본 연구해역과 같이 파랑의 영향이 상대적으로 크고, 해수 순환이 원활한 해역은 유기물함량이 비교적 낮아서 수층 및 수괴에서 영양분을 취하는 여과식성의 이매패류 및 갑각류가 우세한 밀도를 보인다(Frouin 2000). 본 연구결과에서도 모래함량이 높은 퇴적물에서 출현하는 다모류의 밀도가 높거나 또는 이매패류 및 옆새우류가 상대적으로 높은 출현 개체수를 나타내 다른 연구해역과 동일한 양상을 보였다(최 등 2000; 백 등 2007).

한편 대형저서동물 군집 가운데 다모류는 현존량이나

종 구성에 있어서 매우 중요한 위치를 차지한다(정 1997). 본 연구해역에서도 개체수 및 생체량을 기준으로 상위 10위 우점종 가운데 공통적으로 6종이 서열되어 이를 잘 반영하고 있었다. 특히 민얼굴갯지렁이는 본 연구에서 적용한 LeBris index(1988)를 이용하지 않은 단순 출현 개체수에 있어서 13,970개체(349±764개체)의 밀도를 나타내 가장 우점하는 생물이었다. 또한 본 종은 강릉 연안, 후포 및 울진 주변해역과 영일만 등 동해안에서 우점하는 공통적인 특징을 보였으며, 서관을 형성하는 표층퇴적물식자이다(신 등 1992; 최 등 2000; 백 등 2007; 한국전력공사 전력연구원 2008). 그럼에도 불구하고, 본 연구해역에서 정점에 따른 평균 개체수의 차이가 매우 컸고, 특히 모래함량이 높은 서식처를 선호하여 수심이 20m 이하로 얕은 90% 이상의 모래로 구성된 정점군(정점 4, 7, 8)에서 높은 밀도를 보여 차이가 있었다. 반면 후포 주변해역에서 출현한 개체군은 주로 20~30m 수심 내외에서 연중 높은 밀도를 보여 서식수심에서 본 연구와 차이가 있었다. 또한 10m 이내의 수심에서는 하계에 일시적인 가입이 이루어지나 동해안의 특징인 파랑의 영향으로 퇴적상이 교란을 받아 지속적인 서식에 제한이 있음이 보고된 바 있다. 따라서 백 등(2007)이 제안한 파랑의 영향 이외에도 다른 물리적인 요인이 작용하였을 것으로 추정된다. 반면 차우점종인 *M. californiensis*는 전형적으로 수명이 짧고, 소형의 크기를 가지는 기회종적인 특징을 보인다. 일반적으로 저서환경이 열악한 해역에서 주로 출현하며, 오염된 환경에 대한 적응의 내성이 매우 높다(Pearson and Rosenberg 1978). 우리나라의 경우, 갯벌을 포함한 연안역과 내만에서 우점종으로 출현하고 있고, 일부 지역에서는 오염의 정도가 심화되면서 증가하는 경향을 보였다(정 1997; 서 2003). 이 밖에도 본 연구해역에서는 투구갯지렁이와 오투기갯지렁이 등의 밀도가 상대적으로 높았는데, 이들 종들은 *M. californiensis*와 유사하게 저서생태계의 환경이 열악한 진해내만 해역이나 오염역에서 많이 관찰되어 유기물 오염지표종으로 가능성이 이미 제시된 바 있다(임 1993; 정 1997). 이렇듯 상기에서 언급한 4종-*M. californiensis*, 긴자락송곳갯지렁이, 투구갯지렁이 및 오투기갯지렁이-의 다모류는 생태학적으로 기회종의 특징을 보인다는 점과 서식처의 기질환경이 상대적으로 좋지 않은 조건하에서 높은 밀도를 나타내는 것이 일반적이다. 따라서 퇴적물식성 및 기회종적인 특성을 가지는 종들의 높은 출현 밀도가 펄함량이 높은 퇴적물에서 나타나는 일반적인 현상을 반영하는 것인지 또는 서식처 환경의 열악함을 표현하는 것인지에 대한 지속적인 감시가 요구된다.

#### 4. 군집구조

대형저서동물의 생물다양성, 생물량, 분포 및 군집구조는 서식처의 기질 특성에 따라 달라지는 것으로 파악되고 있다(Weston 1988). 또한 서식처의 수심 등을 포함한 다양한 물리적 환경요인이 종내 또는 종간의 생물학적 상호작용과 교합하여 지역 간 또는 계절 간에 차이를 보인다. 그러나 동일한 퇴적상을 나타내더라도 밝혀지지 않은 환경요인에 의해 종 조성, 밀도 및 군집구조에 차이가 있는 것으로 알려져 있다(최 등 2000). 본 연구에서도 대형저서동물의 군집구조는 수심이 낮고 모래함량이 많은 주정점군 1과 반대로 수심이 깊고 펄함량이 많은 주정점군 2로 분리되어 서식처로서의 퇴적상이 어느 정도 영향을 미친 것으로 추정된다. 그럼에도 불구하고, 일원일차분산분석 결과는 통계적으로 유의한 차이는 없어 이를 제외한 다른 무기 환경요인 및 생물학적 반응이 작용하였을 것으로 판단된다( $p > 0.05$ ). 즉 연구해역의 무기 환경요인과 생물학적 인자(출현 종수, 개체수 밀도, 생물량)의 상관성을 파악한 결과에서도 출현 종수와 개체수는 모래함량과는 양의 상관성을 나타낸 반면, 펄함량 및 수심과는 음의 상관성을 나타내어 이를 입증하고 있다.

한편 동해 연안에 서식하는 대형저서동물 군집은 수심과 서식기질의 차이에 따라 그 구조를 달리하는 것으로 파악되고 있다. 또한 최 등(2001)은 동해로 열려있는 군소하천이나 강으로부터 유입되는 하천수 및 생활오수와 원자력발전소 가동으로 인한 온배수의 배출이 적은 규모의 인위적 환경교란을 유발하여 대형저서동물 군집에 영향을 미치는 것으로 제시하였다. 그러나 본 연구에서는 이러한 영향의 정도를 인지할 수 없었고, 통계적으로도 대형저서동물 군집은 수심, 서식기질 및 온배수 배출에 따라 유의한 차이가 없어 기존의 결과와는 차이를 보였다( $p > 0.05$ ). 결국 이러한 결과는 본 연구가 비교적 1년이라는 단기적 조사에서 기인한 원인에서 발생한 가능성도 배제할 수 없다. 그럼에도 불구하고 이와 같은 현상이 월성 원자력발전소 주변해역의 독특한 생태적 특성인지 혹은 본 연구정점이 원자력발전소 주변해역에 집중되어 기인한 것인지에 대한 지속적인 조사가 요구된다.

#### 적 요

본 연구는 월성 원자력발전소 주변해역에 서식하는 대형저서동물의 출현 종수, 생물량 및 군집구조를 파악

하기 위하여 2007년 10월부터 2008년 7월까지 계절별로 현장조사를 실시하였다. 총 163종의 대형저서동물이 출현하였고, 단위면적당 ( $m^2$ ) 개체수와 생물량은 각각 1,005개체와 21.81 gWWt이었다. 출현 개체수의 자료를 기초로 LeBris index (1988)를 이용하여 상위 10위까지의 우점종을 선정하였다. 개체수에 근거한 상위 10위 우점종들은 전체 출현 밀도의 69.00%를 점유하였고, 주요 우점종은 다모류의 민얼굴갯지렁이 (*Spiophanes bombyx*), *Mediomastus californiensis*, 투구갯지렁이 (*Sigambra tentaculata*), 양손갯지렁이 (*Magelona japonica*), 긴자락송곳지렁이 (*Scoletoma longifolia*) 및 절지동물문 갑각류의 미동정 옆새우류 (Amphipoda spp.) 등이었다. 출현 종의 개체수 자료를 기초로 다변량분석(집괴분석과 다차원배열법)을 실시한 결과, 크게 2개의 주정점군을 포함하여 1개의 소정점군(추계의 정점 9와 동계의 정점 3) 및 3개의 개별 정점(춘계의 정점 4 및 하계의 정점 6과 9)으로 구분되었다. 이 중 다수의 정점들이 포함된 주정점군 1은 모래함량이 우세한 정점들로, 주정점군 2는 펄함량이 상대적으로 높은 환경적 특성을 나타내었다. 특히 모래함량이 높은 정점군에서는 다모류의 *Protodorvillea egena*와 이매패류의 개량조개 (*Mactra chinensis*)와 꼬마보라맛조개 (*Siliqua pulchella*)가 우점한 반면, 펄함량이 많은 정점군에서는 다모류의 *M. californiensis*, 양손갯지렁이, 오뚜기갯지렁이 (*Sternaspis scutata*), 긴자락송곳지렁이와 이매패류의 말발조개 (*Thyasira tokunagai*)와 아기반투명조개 (*Theora fragilis*)의 밀도가 높았다. 본 연구해역에 출현한 대형저서동물 군집의 서식기질, 수심 및 온배수 배출에 따른 개체수의 차이유무를 파악하기 위하여 일원일차분산분석을 실시한 결과, 본 연구해역의 대형저서동물 군집은 상기의 무기 환경요인에 대하여 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ).

#### 사 사

본 연구는 한국수력원자력(주) 지원(과제번호 H07-S095-000호)에 의해 이루어졌음을 밝힌다.

#### 참 고 문 헌

- 백상규, 강래선, 전재욱, 이재학, 윤성규. 2007. 동해 후포주변 사질조해대에 서식하는 대형저서동물군집의 분포특성. *Ocean and Polar Research*. 29:123-134.
- 서인수. 2003. 인천 갯벌 저서생물의 군집구조와 먹이망. 인

- 하대학교 대학원 이학박사학위 청구논문. 273pp.
- 손주희. 2006. 동해안 고리 주변 해역 저서동물군집의 구조. 대구대학교 교육대학원 석사학위 청구논문. 111pp.
- 송준임, 이인숙, 원정혜. 1995. 한국 온산만에서의 해산 무척추동물의 생태학적연구. 환경생물. 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'. 6:180-189.
- 이재학, 허형택. 1988. 해양 저서 다모류 분포에 영향을 주는 환경요인에 관한 연구. 해양연구, 10:15-22.
- 임현식. 1993. 진해만의 저서동물에 대한 생태학적 연구. 부산수산대학교 대학원 수산학박사학위논문. 311pp.
- 정대홍. 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.
- 최진우, 제종길, 이재학, 임현식. 2000. 동해 강릉 연안의 사질 퇴적물에 서식하는 대형 저서무척추동물의 분포양상. 한국해양학회지 '바다'. 5:346-356.
- 한국수력원자력(주). 2008. 원전 취배수가 주변 해양생물 자원에 미치는 영향 연구 (중간보고서). 208pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2008. 월성원자력발전소 주변 환경조사 종합보고서(1986~2006). 08전력연-단1046. 87pp.
- 한전기술연구원. 1987. 원자력 발전소 주변 환경조사보고서 (방사능 이외의 환경). KRC-87. 296pp.
- 한전기술연구원. 1990. 원자력 발전소 주변 환경조사보고서 (방사능 이외의 환경). KRC-90. 588pp.
- Bray JR and JT Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. Ecol. Monogr. 27: 325-349.
- Flint RW. 1981. Gulf of Mexico outer continental shelf benthos: macroinfaunal-environmental relationships. Biol. Oceanogr. 1:135-155.
- Frouin P. 2000. Effects of anthropogenic disturbances of tropical soft-bottom benthic communities. Mar. Ecol. Prog. Ser. 194:39-53.
- Gray JS. 1974. Animal-sediment relationships. Oceanography and Marine Biology An Annual Review. 12:223-261.
- Gray JS. 1981. The Ecology of Marine Sediments-An Introduction to the Structure and Function of Benthic Communities-Cambridge University Press. 185pp.
- Kim A, JL Lee and BH Choi. 2001. Analysis of wave data and estimation of littoral drifts for the eastern coast of Korea. J. Kor. Soc. Mar. Environ. Eng. 13:18-34.
- Lardicci C, F Rossi and F Maltagliati. 1999. Detection of thermal pollution: Variability of benthic communities at two different spatial scales in an area influenced by a coastal power station. Mar. Pollut. Bull. 38:293-303.
- LeBris H. 1988. Fonctionnement des Écosystèmes Benthiques Côtiers au contact d'estuaries: la Rade de Lorient et la Baie de Vilaine. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France. 311pp.
- Levinton JS. 1995. Marine Biology-Function, Biodiversity, Ecology-Oxford University Press Inc., New York. 420pp.
- Margalef R. 1958. Diversidad de especies en las comunidades naturales. Publ. Inst. Biol. apl. Barcelona. 9:5-27.
- Nichols, FH. 1970. Benthic polychaete assemblages and their relationship to the sediment in Port Madison, Washington. Mar. Biol. 6:48-57.
- Olsgard F and JS Gray. 1995. A comprehensive analysis of the effects of offshore oil and gas exploitation and production on the benthic communities of the Norwegian continental shelf. Mar. Ecol. Prog. Ser. 122:227-306.
- Pearson TH and R Rosenberg. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 16:229-311.
- Pielou EC. 1975. Ecological Diversity. John Wiley and Sons, New York. 165pp.
- Shannon CE and W Weaver. 1949. The Mathematical Theory of Communication Univ. Illinois Press, Urbana, Illinois. 125pp.
- Snelgrove PVR and CA Butman. 1994. Animal-sediment relationships revisited: cause vs effect. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 32:111-127.
- Thouzeau G, G Robert and R Ugarte. 1991. Faunal assemblages of benthic megainvertebrates inhabiting sea scallop grounds from eastern Georges Bank, in relation to environmental factors. Mar. Ecol. Prog. Ser. 74:61-82.
- Weston DP. 1988. Macrobenthos-sediment relationships on the continental shelf off Cape Hatteras, North Carolina. Continental Shelf Research. 3:267-286.
- Yi SK, JS Hong and JH Lee. 1982. A study on the subtidal benthic community in Ulsan Bay, Korea. Bull. KORDI. 4: 17-26.