

Article

서해 태안 사질 퇴적물에 서식하는 중형저서동물 군집구조 연구

백진욱¹ · 김기춘¹ · 이승한¹ · 이강현¹ · 이동주¹ · 채진호² · 이원철^{1*}

¹한양대학교 생명과학과
(133-791) 서울특별시 성동구 행당동 17
²한국종합환경연구소
(426-857) 경기도 안산 상록구 이동 634-1

**Meiofauna Community from Sandy Sediments Near Taean
in the Yellow Sea, Korea**

**Jinwook Back¹, Kichoon Kim¹, Seunghan Lee¹, Kanghyun Lee¹, Dong Ju Lee¹,
Jinho Chae², and Wonchoel Lee^{1*}**

¹*Department of Life Science
Hanyang University, Seoul 133-791, Korea*
²*Korea Environmental Technology Consulting Hotline Co., Ltd.
Ansan 426-857, Korea*

Abstract : The community structure of meiofauna was surveyed from six stations in sand mining area near around Sungapdo, Taean five times from April-December, 2007. Ten meiofaunal taxa in total, comprising 5-9 taxa per station were recovered. Nematodes were dominant from four stations in April and from five stations in May. In June, copepods were dominant from all stations except station two, from which sarcomastigophorans were predominant. Copepods were also dominant from three stations in October and four stations in December. The mean density of meiofauna per 10 cm⁻² was the highest in October (130 individuals) and lowest (68 individuals) in April. Meiofauna mean biomass per 10 cm⁻² was 3.80-75.26 μ gC from each station, with the monthly mean biomass being lowest in April (11.97 μ g C) and highest in October (39.50 μ gC). The highest biomass was recorded at station five in October (75.26 μ g C). Eleven families of harpacticoid copepods occurred Ameiridae and Ectinosomatidae were the most frequent. The mean diversity index was 1.21 from all the stations, 1.22 from the sand mining stations, and 1.19 from the reference stations. The nematode:copepod (N/C) ratio was 1.57 from the sand mining stations and 1.37 from the reference stations. Non-metric multidimensional scaling analysis divided the community into group A (station one, non-sand mining and reference area) and groups B and C in the sand mining area. The present study reports similar numbers of taxa but lower density and biomass of meiofauna compared to previous studies in Korean waters. The variability of the diversity index and N/C ratio may indicate large fluctuation of meiofauna depending on temporal and spatial conditions of the environment in the study area.

Key words : meiofauna, sand mining, Yellow Sea, benthic community, harpacticoids

*Corresponding author. E-mail : wlee@hanyang.ac.kr

1. 서 론

본 연구의 대상지역은 용진군 선감도로부터 약 10 km 떨어진 곳에 위치하고 있다. 이곳에서 북동쪽으로 약 10 km 지점에 대이작도 주변해역 생태계 보전지역이 있으며 태안 해안국립공원과는 약 11 km 정도 떨어져 있다. 이 지역은 현재 해사채취가 빈번하게 이루어지고 있는 지역이다. 해사채취는 퇴적물환경에 물리적으로 큰 영향을 주며 필연적으로 해저지형의 변화를 가져오고 그 영향이 해안선까지 미치게 된다. 따라서 연안 생태계에서 생태·경제적으로 중요할 뿐만 아니라, 파도나 바람을 막는 등의 역할을 하는 해안선의 변화를 가져오게 된다(Byrnes et al. 2004; 김 등 2005). 해사채취 지역의 경우 채취로 인하여 퇴적물 자체가 소실되므로 저서생물 서식지의 완전한 파괴와 그에 따른 저서동물 군집의 손실이 나타난다. 이러한 물리적 교란은 중형저서동물의 다양성과 생물량에 많은 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Schratzberger et al. 2002). 따라서 해사채취활동은 어떠한 경우든 저서생태계에 악영향을 미치는 것으로 오랫동안 인식되어 왔다. 또한 해사채취는 저층 퇴적물을 직·간접적으로 교란시킴으로써 수층에 서식하는 어류나 그 외 해양생물의 주요 먹이원인, 퇴적물에 서식하는 저서동물의 자원량을 감소시키고 저서동물의 생물다양성을 급감시킨다(장 등 2004). 이러한 생물다양성과 자원량의 급격한 감소는 그 해역이 원래 가지고 있던 안정화된 에너지흐름과 먹이망의 연결을 단절시킴으로써 그 해역 생태계 전체에 큰 영향을 미치게 될 수 있다(장 등 2004). 우리나라에서는 해사채취와 관련된 세부적인 평가항목 및 기준이 아직 구체적으로 마련되어 있지 않고, 그 피해에 대한 연구도 아직까지 미비한 실정이다. 또한, 우리나라에서 해사채취의 생물학적 영향에 대한 연구는 환경 영향 평가 등을 통해서 소수의 연구자에 의해 진행되고 있을 뿐이다.

이러한 저서 환경변화에 직간접적 영향을 받는 중형저서동물은 학자에 따라서 약간의 차이가 있지만 저서 퇴적물에 서식하는 1 mm의 체를 통과하여 42 μ m의 체 위에 남는 크기를 갖는 저서동물의 총칭이다(Higgins and Thiel 1988). 중형저서동물에 속하는 주요 종들은 전 생활사를 퇴적물 안에서 보내며 서식을 위해 비교적 안정된 환경을 요구하고 세대 기간이 짧기 때문에, 대형저서동물에 비하여 환경변화에 민감하여 짧은 기간에도 군집의 변화를 보인다고 알려져 있다(Sandulli and De Nicola 1990). 또한 해양 저서환경의 어디에나 서식하며 가장 많은 개체수를 가진 생물이다. 과거 해양환경을 평가하는데 저서동물을 많이 이용해 왔으며, 특히 해양의 수질 모니터링에 이동성이 없는 저서동물을 포함시켜 분석하거나 퇴적물의 질을 평가할 때 저서동물을 이용하려는 시도가 많이 있었다

(Chapman et al. 1987; Chapman 1990; 임과 홍 1994; 이 등 1997; 한국해양연구원 1999). 유럽에서는 그 동안의 생물군집 연구 자료를 이용하여 각 저서동물이 환경교란에 반응하는 정도를 파악하고 구분하여 정량적인 환경지수를 산출하는데 이용하고 있다(Borja et al. 2000). 한편 우리나라에서도 대형저서동물에 비하여 상대적으로 환경변화에 민감한 중형저서동물에 대한 관심이 점증하여 갯벌에 서식하는 중형저서동물에 대한 연구(김 등 1998; Kim et al. 2000; 김 등 2004a, 2004b), 교란에 의한 생물군집의 변화에 대한 연구(김과 이 2000; 김 등 2000; 김과 이 2001; 김 등 2001)와 독도 주변의 중형저서생물에 대한 연구(김 등 2002)등 소수의 연구자들에 의해 이루어지고 있다.

본 연구 지역의 경우 지속적으로 같은 지역에서 해사채취가 이루어지므로, 비교적 중·장기적으로 환경변화를 감시할 수 있는 대형저서동물과 함께 단·중기적인 환경 모니터링에 유용한 중형저서동물에 관한 연구가 필수적이라고 할 수 있다. 본 연구는 서해 선감도 주변에 현존하는 중형저서동물의 군집에 관한 기초자료를 모으고, 해사채취가 일어나는 사질 환경에서의 중형저서동물의 군집변동에 대하여 연구하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

서해 선감도 주변 해역에 서식하는 중형저서동물 군집 구조 기초 연구를 위해 2007년에 총 5회에 걸쳐서 4월, 5월, 6월, 10월, 12월에 채집을 실시하였다. 총 6개의 연구 정점들의 수심 범위는 30~55 m이었다(Fig. 1). 정점 1과 6은 비해사채취구역이며, 정점 2, 3, 4, 5는 해사채취구역이었다. 해저 퇴적물은 van Veen grab을 이용하여 채집하였으며, 내구 면적 10 cm²의 아크릴코어를 사용하여 2차 채취를 하였다. 시료는 5% 중성 포르말린으로 고정하였으며 매 채집마다 3개씩 반복 시료를 얻었다. 생물 서식지에 대한 환경자료는 각 정점에서 YSI 556을 이용하여 수온과 염분을 측정하였으며, 저층 퇴적물 입도분석을 위하여 퇴적물 시료를 별도로 채취하였다. 실험실로 옮겨진 퇴적물 시료는 Wentworth scale에 따라 자갈(Gravel), 모래(Sand), 진흙(Mud)으로 분류하고 그 비율을 확인한 후 Folk(1974)의 분류에 따라 지역의 퇴적물특성을 분류하였다.

채집된 생물시료는 루독스(ludox)를 이용한 추출법을 이용하여 퇴적물 시료에서 생물을 추출하였다(Burgess 2001). 루독스를 이용한 추출법은 De Jonge and Bouwman에 의해 1977년 개발된 방법으로 현재까지 여러 방법으로 개선되어왔다. 이번 연구에서는 현재 가장 개선된 방법인 Ludox-AM이나 Ludox HS 40을 이용하는 방법(Burgess

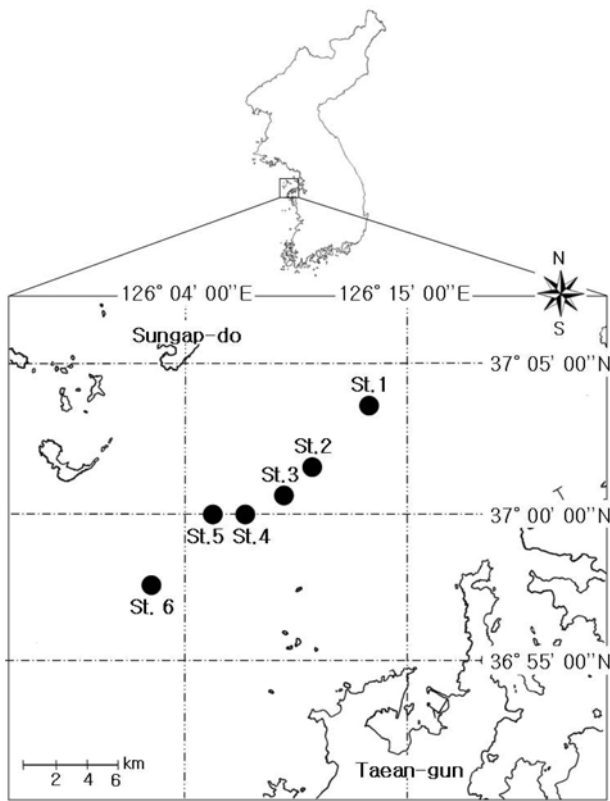


Fig. 1. Sampling stations at the coast of Taean in the Yellow sea of Korea.

2001)을 따라 생물을 추출하였다. 추출된 생물 시료는 해부현미경(Olympus SZX12)과 광학현미경(Olympus BX51) 하에서 관찰하여 Higgins and Thiel(1988)과 Giere(1993)에 따라 분류하고 동정하였다. 분류된 시료는 각 분류군별로 눈금이 그려진 패트리디쉬(Grid plastic petri dish)에서 계수되었고, 이 자료를 단위면적(10 cm²)당 개체수로 변환시켰다. 중형저서동물 분류군 중 요각류는 과(科)단위까지 동정하였으며, 요각류의 분류 체계는 Huys et al.(1996)에 의거하였다. 또한 중형저서동물을 각 분류군별로 분류하여 각각을 분리한 뒤, 각 분류군의 생물량(biomass)을 측정하기 위하여 개체의 넓이와 폭을 해부 현미경과 광학현미경에 부착된 카메라를 이용하여 이미지 분석 프로그램(MetaMorph 6.0r5)으로 계산하였다. 최종결과는 Feller and Warwick의 Volumetric method(Higgins and Thiel 1988)를 이용하여 탄소량($\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$)으로 환산하였다.

채집 시기별 군집구조와 정점간 유사도를 파악하기 위해 Bray-Curtis의 유사도 지수를 기초로 정점간 수지도를 작성하여 계보적 집괴분석(Hierarchical cluster analysis)을 시도하였으며, 소수 출현 종에 의한 유사도지수의 과대평가를 낮추기 위해 지수변환[$\log(\text{abundance} + 1)$]한 자료를 이용하였다. 또한 출현 종별 개체수 자료와 물리 환경 자료를 이용하여 NMDS(non-metric multidimensional scaling)

배열법으로 군집분석을 하였다(Clarke 1993). 또한 생물 분류군간의 상관관계를 파악하기 위해 SPSS(v.15.0.0)에서 Spearman계수를 이용하여 양측검정으로 상관관계를 분석하였다.

3. 결 과

저서 환경

2007년 연구지역 퇴적물의 온도는 4월 $6.5 \pm 0.3^\circ\text{C}$, 5월 $9.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$, 6월 $15.7 \pm 0.1^\circ\text{C}$, 10월 $21.4 \pm 0.1^\circ\text{C}$, 12월에 $12.9 \pm 0.4^\circ\text{C}$ 로 나타났다(Fig. 2A). 표층 수온과의 온도 편차는 4월 정점 6에서 0.6°C 로 가장 차이가 컸으나, 그 외 대부분의 정점은 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 의 온도편차가 나타났다. 4월 정점 3과 5, 5월 정점 1, 2, 3, 4, 10월 정점 4는 퇴적물 온도가 표층보다 0.1°C 높게 나타났다. 12월을 제외하고 정점 4가 가장 낮은 퇴적물 온도를 나타냈으며 12월에는 정점 5가 12.5°C 로 정점 4보다 0.5°C 낮았다(Fig. 2A).

염분은 연구기간동안 29.2~31.6 psu의 범위로 나타났으며, 평균 30.8 psu를 나타내었다. 가장 낮은 염분은 4월 정점 1에서 29.3 psu로 조사되었으며, 가장 높은 염분은 6월 정점 6을 제외한 전 정점에서 31.6 psu으로 나타났다. 정점 5는 모든 채집시기에 정점 평균 염분보다 높은 염분을 나타내었다(Fig. 1B).

퇴적물의 입도는 해사채취구역인 정점 3, 4, 5번은 4월, 5월, 6월에 모두 (g)mS(slightly gravelly muddy sand)로

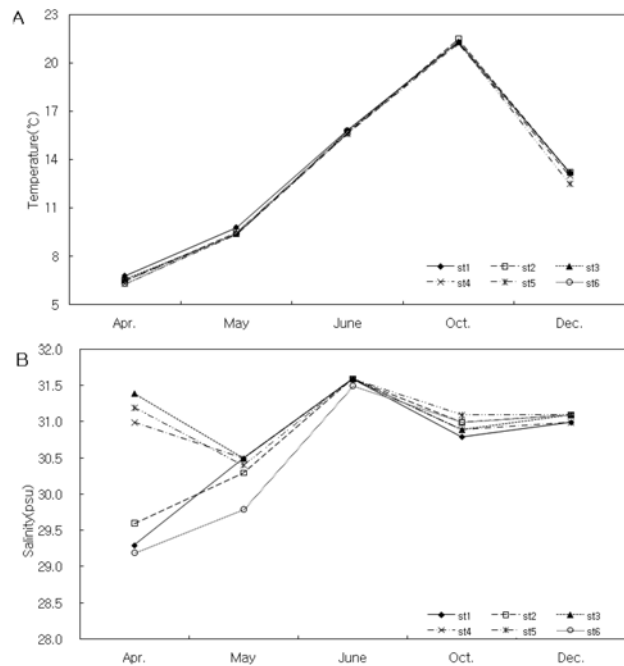


Fig. 2. Variation of environmental variables during the study periods. A, sediment temperature; B, salinity.

Table 1. Sediment types (Folk) in the study area

	Non-sand mining area		Sand mining area			
	St.1	St.6	St.2	St.3	St.4	St.5
Sediment type (sand composition, %)						
April	(g)mS(81.9)	mS(80.7)	mS(88.4)	(g)mS(83.4)	(g)mS(82.7)	(g)mS(82.3)
May	(g)mS(86.5)	S(95.7)	mS(84.8)	(g)mS(83.0)	(g)mS(85.4)	(g)mS(88.0)
June	(g)S(89.8)	S(94.3)	(g)mS(89.5)	(g)mS(89.3)	(g)mS(89.1)	(g)mS(89.6)
October	mS(90.6)	ND	(g)S(93.5)	S(93.1)	S(94.3)	S(94.6)
December	mS(89.1)	ND	S(94.8)	S(93.8)	S(94.3)	S(95.5)

(g)mS: slightly gravelly muddy sand, S: sand, (g)S: slightly gravelly sand, mS: muddy sand, ※ND: no data.

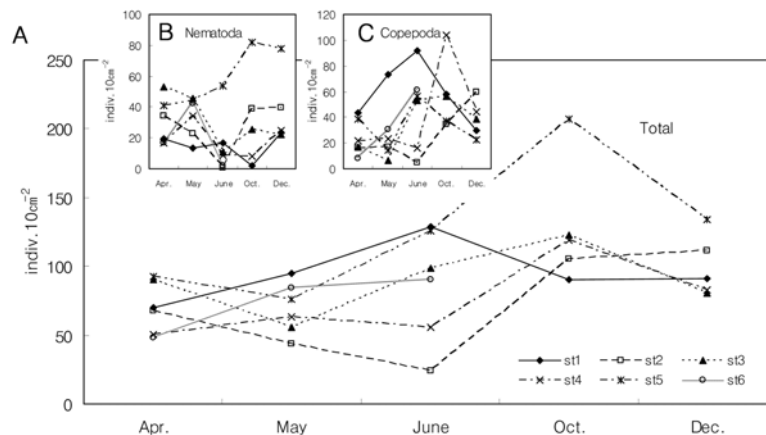


Fig. 3. Variations in the density of meiofauna and two major taxa during the study period.

조사되었다. 연구지역의 모든 정점에서 sand의 함량은 80% 이상이었고, gravel의 함량은 1% 미만으로 전체적으로 조립한 저서환경을 나타내었다. 특히 12월에는 정점 1을 제외한 모든 정점에서 sand의 함량이 93% 이상을 나타내었다(Table 1).

중형저서동물의 군집 조성

연구기간동안 출현한 중형저서동물의 분류군은 모두 10개였으며, 선충류, 요각류, 다모류는 모든 시기, 모든 정점에서 출현하였다. 연구시기의 각 정점별 분류군 수는 5~9개 범위였으며, 각 시기별로는 10월에 정점 1과 2에서 9개 분류군이 출현하여 가장 많았고, 5월에 정점 1과 2, 12월에 정점 5에서 5개의 분류군이 출현하여 가장 적었다(Fig. 4).

연구기간동안 전 정점의 중형저서동물의 평균 개체수는 89 indiv.10 cm⁻²로 나타났으며, 10월에 130 indiv.10 cm⁻²로 가장 많았고, 4월에 68 indiv.10 cm⁻²로 가장 낮았다.

요각류는 연구기간을 통틀어 평균 38 indiv.10 cm⁻²로 가장 우점하였다. 4월에는 전체 중형저서동물 구성의 35.27%를 차지하여 선충류에 이어 우점하였으며, 비해사채취지역인 정점 1에서 43 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 가장

우점하였다. 5월에는 정점 6에서 31 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 선충류에 이어 두 번째로 우점하였으며, 정점 1에서는 74 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 중형저서동물 중 78.61%의 비율을 차지하였다. 해사채취지역인 정점 3에서는 6 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 6개 정점 중 가장 적은 개체수가 출현하였다. 6월에는 6개 정점에서 평균 47 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 전체 중형저서동물 중 54.21%의 비율을 차지하였으며, 정점 1에서 92 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 가장 많았다. 이 시기에는 정점 2를 제외한 모든 정점에서 중형저서동물 중 요각류의 비율이 가장 높았다. 정점 2에서는 20.83%의 비율을 차지하여 다모류에 이어 두 번째로 높은 비율을 나타내었다. 10월에는 5개 정점에서 평균 58 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 10월 전체 중형저서동물 개체수의 44.68%를 차지하여 가장 우점하였다. 해사채취지역인 정점 4에서 104 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 연구기간 중 가장 많은 요각류 개체수가 출현하였다. 정점 2에서는 35 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 가장 적게 출현하였다. 12월에는 5개의 정점에서 195 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 중형저서동물 개체의 38.88%를 차지하여 선충류와 비슷한 비율로 출현하였다. 해사채취지역인 정점 2에서 60 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 가장 많았으며, 정점 5에서 22

indiv.10 cm⁻²가 나타나 가장 적었다. 비해사채취지역인 정점 1에서는 연구기간동안 요각류가 가장 우점하였다(Fig. 3A, C).

선충류는 연구기간동안 평균 29 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 요각류에 이어 두 번째로 우점하였다. 4월에는 6개 정점의 평균 30 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 전 정점의 중형저서동물 중 44.34%의 비율을 차지하여 가장 우점하였으며, 정점별로 정점 1과 4를 제외한 4개 정점에서 가장 우점하였다. 해사채취구역인 정점 3에서 53 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 가장 많았으며, 비해사채취구역인 정점 6에서 17 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 이 시기의 정점 중 가장 적은 개체수를 나타냈지만 중형저서동물 중 차지하는 비율은 44.34%을 나타내었다. 5월에는 총 34 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 4월에 비하여 증가하였으며, 5월에 출현한 중형저서동물 중 49.18%를 차지하여 가장 우점하였다. 4월과 동일하게 정점 3에서 46 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 이 정점에서 출현한 중형저서동물 중 83.18% 비율을 차지하여 가장 우점하였다. 정점 1에서 13 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 전 정점 중 개체수가 가장 적었다. 6월에는 연구기간 중 가장 적은 평균 16 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 이 시기

전체 연구 정점의 중형저서동물 개체수 중 18.01%의 비율을 차지했다. 정점 5에서 54 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 가장 우점하였고, 정점 2에서는 1 indiv.10 cm⁻²만이 출현하였다. 또한 정점 6에서 2 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 2.22%의 비율을 차지하였다. 10월에는 5개 정점 평균 31 indiv.10 cm⁻²가 출현하였으며, 정점 5에서 82 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 10월 전체 정점에서 출현한 선충류의 절반 이상을 차지하였다. 정점 1에서는 2 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 가장 적었다. 12월에는 5개 정점 평균 37 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 이 시기의 전체 중형저서동물 중 37.29%의 비율을 차지하였다. 정점 5에서 78 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 가장 많았으며, 정점 3에서 22 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 가장 적었다(Fig. 3A, B).

다모류는 전체 연구기간에 걸쳐 평균 9 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 9.92%의 비율을 차지하였다. 요각류, 선충류와 함께 연구기간 중 모든 정점에서 출현하였으며, 10월에 정점 5에서 31 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 가장 많았고, 5월 정점 4에서 1 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 가장 적었다. 빈모류는 전체 연구기간에 걸쳐 평균 6 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 전체의 6.94% 비율을 차지하였으며, 특히 12월

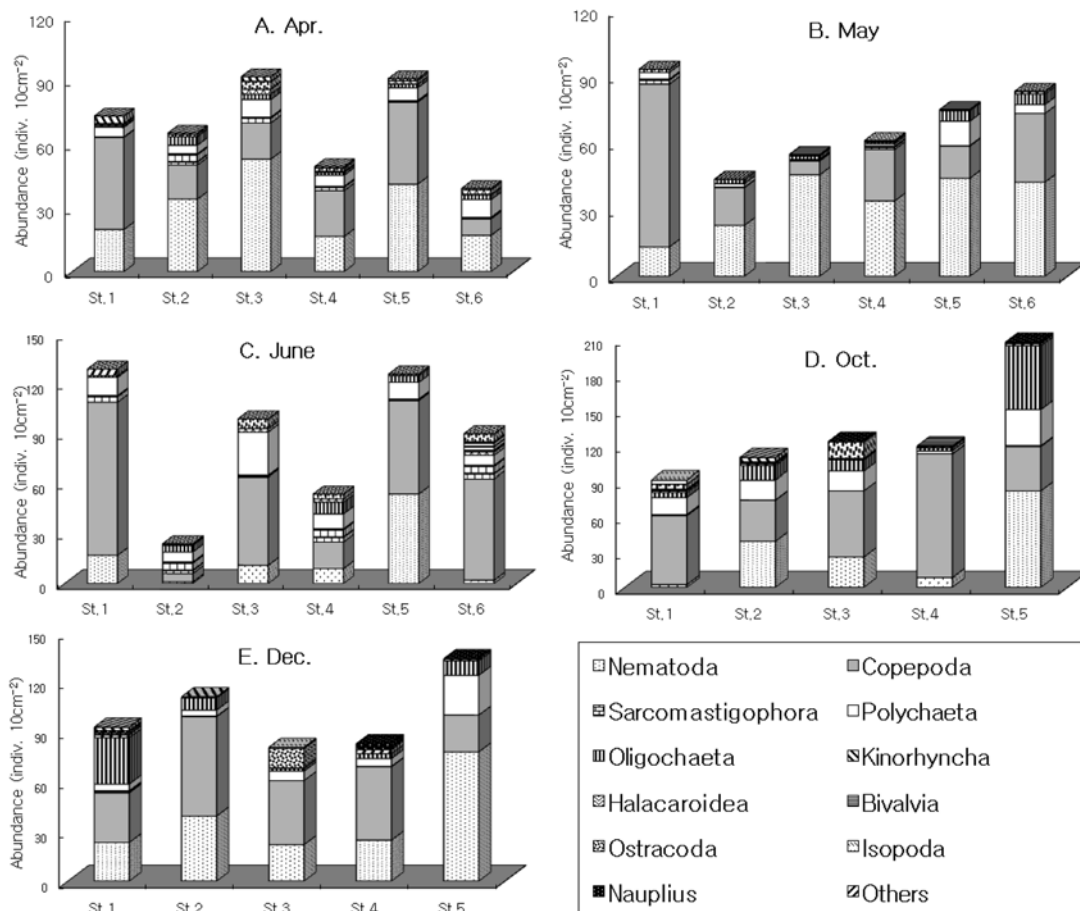


Fig. 4. The meiofaunal abundances at each station during the study period.

에 정점 1에서 출현한 중형저서동물 개체수의 30.14%의 비율인 28 indiv.10 cm⁻²가 출현하여 가장 많았다(Fig. 4).

생물량

모든 기간에 걸쳐 정점별 중형저서동물의 생물량의 범위는 3.79~75.26 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 나타났다. 월별 생물량의 평균은 10월에 39.50 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 를 나타내어 가장 높았으며, 4월에 11.97 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 가 나타나 가장 낮았다. 한 개의 정점에서 단일 분류군으로 가장 높은 생물량을 나타낸 분류군은 12월에 정점 1에서 빈모류로서 32.43 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 의 생물량을 나타냈다.

다모류는 연구기간동안 평균 6.43 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 의 생물량을 나타냈으며, 중형저서동물의 전체 생물량의 28.76%를 차지하였다. 다모류의 생물량은 12월에 가장 적은 1.22 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 를 나타내었으며, 이 시기에는 정점 1에서 0.21 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 가장 적게 나타났고, 정점 5에서 3.95 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 가장 높게 나타났다. 10월에 가장 높은 13.55 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 를 나타내었으며, 이 시기에는 해사채취지역인 정점 2에서 가장 높은 27.12 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 가 측정되었으며, 역시 해사채취지역인 정점 4에서 0.55

$\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 가 측정되어 가장 낮았다(Fig. 5).

요각류는 연구기간동안 평균 6.21 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 의 생물량을 나타내어, 다모류에 이어 두 번째로 높은 생물량을 나타냈으며, 중형저서동물의 전체 생물량의 27.74%를 차지하였다. 연구기간 중 가장 높은 요각류 생물량을 나타낸 6월에는 모든 정점의 평균값이 8.52 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 나타났다. 이 시기에 정점 3에서 17.71 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 가장 높게 나타났으며, 정점 2에서 0.52 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 가장 낮았다. 연구기간 중 가장 낮은 요각류 생물량을 나타낸 4월에는 모든 정점의 평균값이 3.08 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 를 나타냈으며, 이 때 정점 5에서 5.01 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 가장 높았으며, 정점 2에서 2.18 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 가장 낮았다(Fig. 5).

개체수가 요각류 다음으로 많은 선충류는 연구기간 평균 3.22 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 나타났으며, 월 평균으로는 10월에 5.55 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 가장 높았고, 4월에 2.03 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 가장 낮았다. 정점별로는 6월에 정점 2에서 0.018 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 가장 낮게 나타났으며, 10월에 정점 5에서 18.26 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 가장 높게 나타났다. 연구기간 평균 4.72 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 선충류와 요각류에 이어 3번째로 높은 생물량을 나타낸 빈모류는 12월에 평균

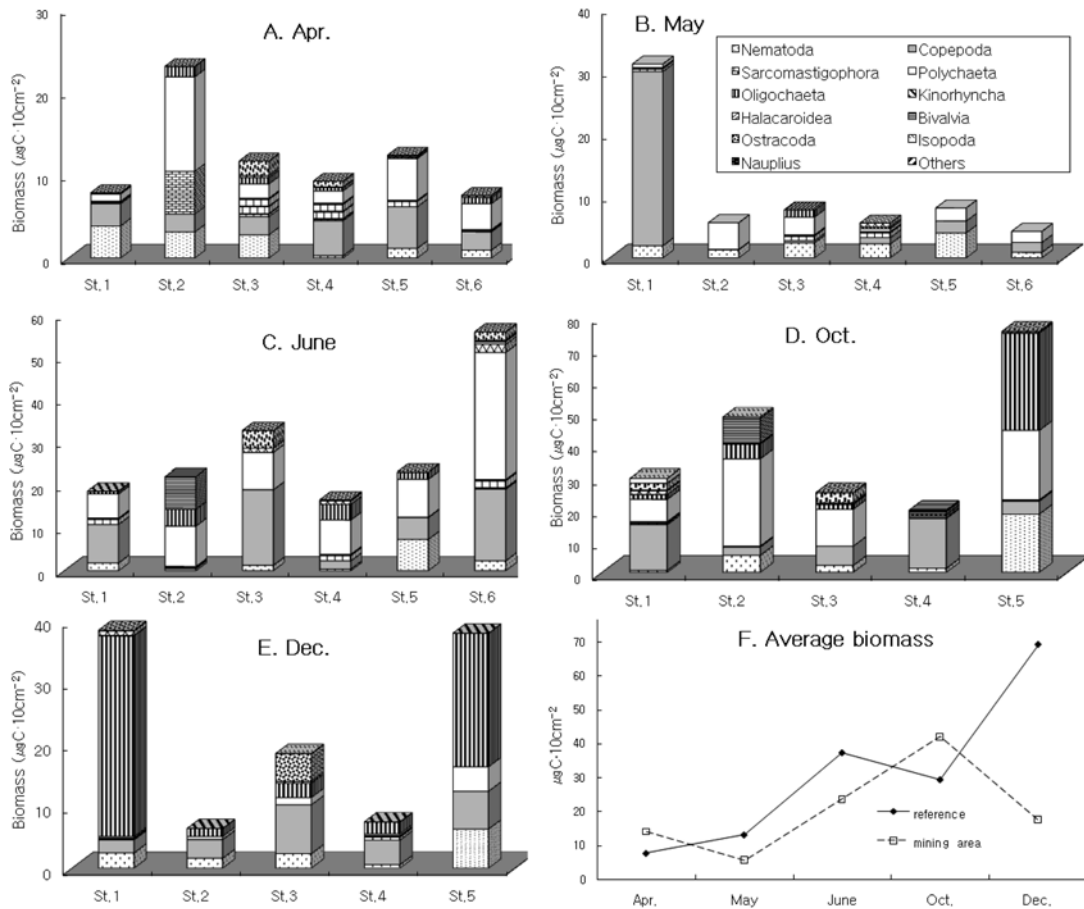


Fig. 5. The meiofaunal biomass at each station during the study period.

11.89 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 가장 높았다. 특히 10월과 12월에 정점 5에서 각각 30.44 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 와 21.54 $\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 높게 나타났다(Fig. 5).

저서성 요각류의 분포

연구 기간 중 저서성 요각류인 harpacticoid copepods는 모두 11개 과(family)가 출현했으며, Ameiridae와 Ectinosomatidae는 총 22개 정점에서 출현하여 가장 많았으며, Harpacticidae, Normanellidae, Tisbidae가 각각 1번씩 출현하였다. 정점별로 비해사채취구역인 정점 1에서는 Ameiridae가 모든 연구기간동안 출현하였으며, Leptastacidae가 12월을 제외한 4번에 걸쳐 출현하였다. 또한 연구기간 중 Harpacticidae는 유일하게 5월에 정점 1에서만 출현하였다. 같은 비해사채취구역인 정점 6은 퇴적물의 채집이 불가능했던 10월과 12월을 제외하고 모두 6개의 과가 출현하였으며, Ameiridae는 3번의 채집에서 모두 출현하였고, 4월에는 Ameiridae만 출현하였다. 해사채취구역인 정점2는 연구기간동안 모두 7개의 과가 출현하였으며, 모든 시기에 나타난 과는 없었다. Ectinosomatidae는 12월을 제외한 달에서 출현하였으며, 10월에는 처음으로 출현한 Normanellidae를 포함하여 모두 6개의 과가 출현하였다. 정점 3에서는 모두 9개의 과가 출현하였으며 10월에는 8개의 과가 출현하였고 5월에 가장 적은 2개의 과가 출현하였다. 4월에 유일하게 Tisbidae가 출현하였다. 정점 4와 정점 5에서는 7개의 과가 관찰되었으며, 출현한 과는 모두 같았다. 정점 4에서는 Ectinosomatidae가 모든 시기에 출현하였으며, 정점 5에서는 Paramesochridae가 모든 시기에 관찰되었다(Table 2).

군집분석

연구기간 중 출현한 중형저서동물의 주요 분류군을 기

준으로 분류군 수, 분류군 다양도 지수, 선충류와 저서성 요각류의 비인 NC ratio를 분석하였다. 전 기간에 걸친 정점별 평균 분류군 수는 정점 1에서 7.4개로 가장 높았으며, 정점 2에서 6.4로 가장 낮았다(Fig. 6A). 모든 시기에서 평균 분류군 다양성지수는 1.21이었으며, 비해사채취구역은 평균 1.19, 해사채취구역은 1.22를 나타내었다. NC ratio는 비해사채취구역이 1.37, 해사채취구역이 1.57을 나타내었다. 연구 시기별로 살펴보면, 4월은 비해사채취구역인 정점 1과 6이 모두 8개의 분류군이 나타났다(Fig. 4B). 분류군 다양성 지수는 평균 1.31을 나타냈으며, 비해사채취 구역인 정점 6이 1.51로 가장 높았으며, 역시 비해사채취구역인 정점 1이 1.12로 가장 낮아 해사채취와 비해사채취구역간의 뚜렷한 차이는 보이지 않았다(Fig. 5C-D). 이 시기의 NC ratio는 평균 1.62였으며, 정점 3이 3.10으로 가장 높게 나타났으며 정점 1과 4에서는 1미만의 낮은 값이 나타났다(Fig. 6E). 5월에 출현한 분류군 수는 9개로 이때패류가 처음 출현하였다. 정점 2에서는 5개의 분류군만이 출현하였지만, 분류군 다양성 지수는 0.99로 이 시기의 전체 평균인 0.93보다 약간 높았으며, 해사채취구역과 비해사채취구역의 다양성 지수의 차는 0.02로 매우 낮았다(Fig. 6C-D). NC ratio는 평균 2.46이었으며, 4월과 마찬가지로 정점 3이 7.32로 가장 큰 폭의 상승과 높은 값을 나타내었다(Fig. 6E-F). 이 시기의 평균 NC ratio는 해사채취구역이 비해사채취구역에 비하여 평균 2.52가 높아 큰 차이를 보였다(Fig. 6D). 수온이 15°C를 넘기 시작한 6월에는 총 9개의 분류군이 각 정점별로 6~7개씩 나타났다(Fig. 6A). 이 시기의 분류군 다양성지수는 1.31로 4월과 비슷한 수준으로 회복하였고, 정점 4가 1.79로 가장 높은 값을 나타내었으며, 해사채취구역은 비해사채취구역보다 0.36 높은 값을 나타내었다(Fig. 6C-D). NC ratio는 크게 떨어져 평균 0.36으로 저서성 요각류

Table 2. The list of harpacticoid family occurred during the study period

	St.1					St.2					St.3					St.4					St.5					St.6		
	4	5	6	10	12	4	5	6	10	12	4	5	6	10	12	4	5	6	10	12	4	5	6	10	12	4	5	6
Ameiridae	*	*	*	*	*			*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cletodidae		*		*										*					*					*				
Cylindropsyllidae			*	*	*			*	*				*	*				*	*				*	*				
Ectinosomatidae	*	*	*			*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*
Harpacticidae	*																											
Laophontidae			*	*							*	*	*	*														*
Leptastacidae	*	*	*	*		*		*	*		*		*	*	*	*	*	*	*	*				*	*		*	*
Miraciidae		*	*		*	*					*	*	*	*	*									*	*		*	*
Normanellidae									*																			
Paramesochridae	*	*	*		*			*	*				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Tisbidae										*																		

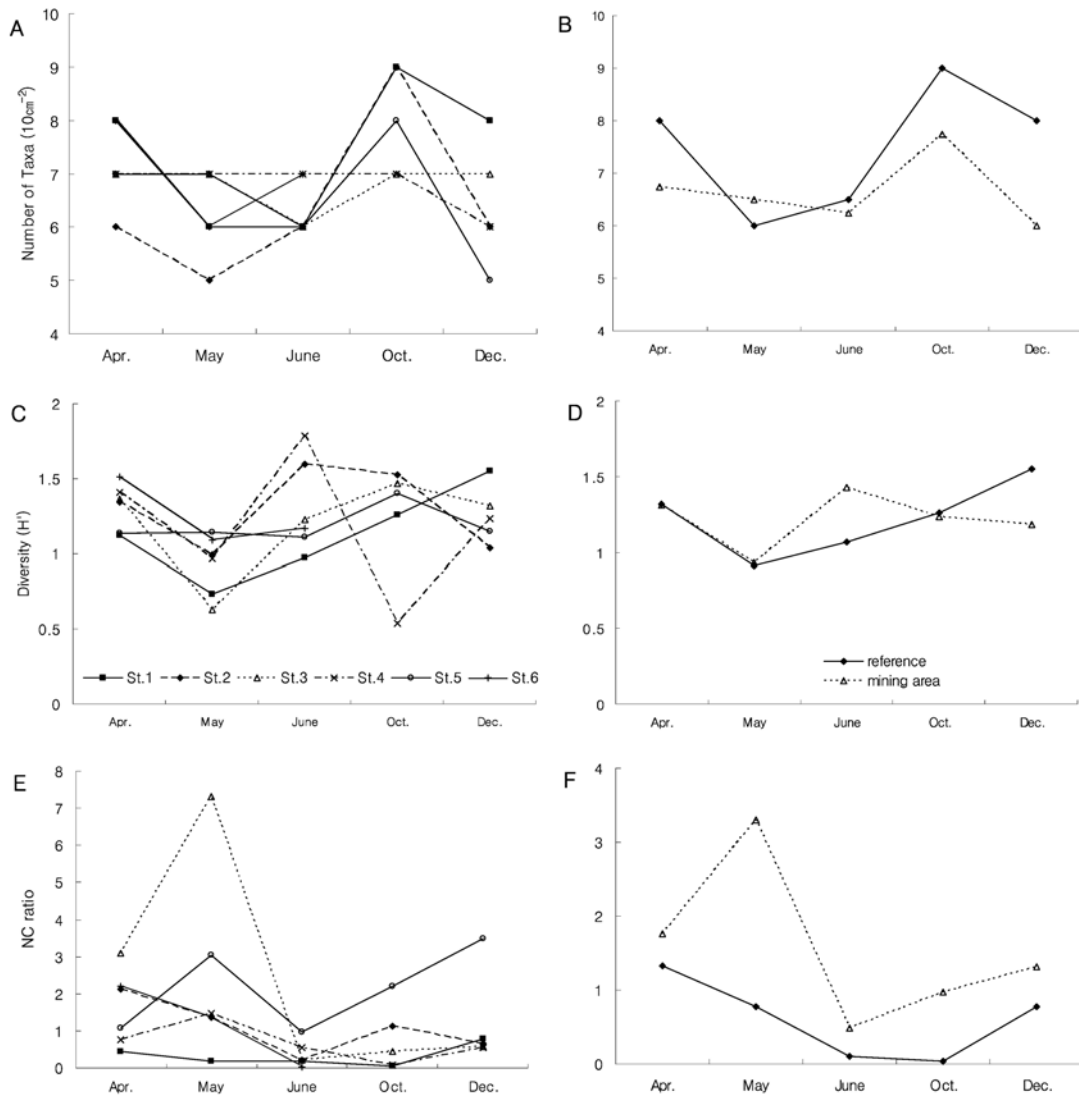


Fig. 6. Seasonal fluctuation of the number of major taxa occurred, taxon diversity (H'), and nematode : copepod (N/C) ratio at each station (A, C, E) and from between the reference and the mining area (B, D, F).

가 선충류보다 많아지기 시작하였다. 특히 정점 6은 0.03의 값을 나타내 전 시기를 걸쳐 가장 낮은 값을 나타내었다(Fig. 6E). 수온이 가장 높은 값을 나타낸 10월에는 모두 10개의 분류군이 정점별로 7~9개 사이에서 나타났으며 정점 1에서 처음으로 등각류가 출현하였다(Fig. 6A). 분류군 다양성지수는 평균 1.24였으며, 정점 4에서 0.54로 가장 낮았다. NC ratio는 6월에 비하여 상승하여 평균 0.78을 나타내었으며, 비해사채취구역인 정점 1에서 0.04의 값을 나타내어 가장 낮았으며, 정점 5에서 2.21을 나타내어 가장 높았다(Fig. 6C-F). 12월에는 이매패류가 출현하지 않아 9개의 분류군이 정점별로 5~8개씩 출현하였으며, 정점 5에서 5개의 분류군만이 출현하여 가장 적었다(Fig. 6A). 분류군 다양성지수는 평균 1.26을 나타내었으며, NC ratio는 선충류의 비율이 상승하여 평균 1.21을 나

타내었다(Fig. 6C-F).

환경요인 및 분류군의 분포 및 개체수를 토대로 Bray-Curtis 유사도 지수 자료를 사용하여 NMDS 배열법으로 군집분석을 실시한 결과 기간에 따라 다소 차이가 나타났지만, 비해사채취구역인 정점 1로 대표되는 그룹 A와 해사채취구역인 Group B와 C로 나뉘어졌다(Fig. 7A-E). 비해사채취구역인 정점 1은 6월과 12월을 제외한 시기에 단독 그룹을 형성하였으며, 다른 비해사채취구역인 정점 6은 3번의 조사에서 모두 해사채취지역과 같은 Group을 형성하였다. 정점 2와 4는 5월과 12월에 매우 유사한 값을 나타내었다(Fig. 7A-E). 이들 세 Group간에 나타나는 유의성을 ANOSIM 평가를 실시한 결과는 4, 5, 6월에 유의한 결과를 나타내었지만, 6번 정점 채집이 되지 않은 10월과 12월에는 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 3).

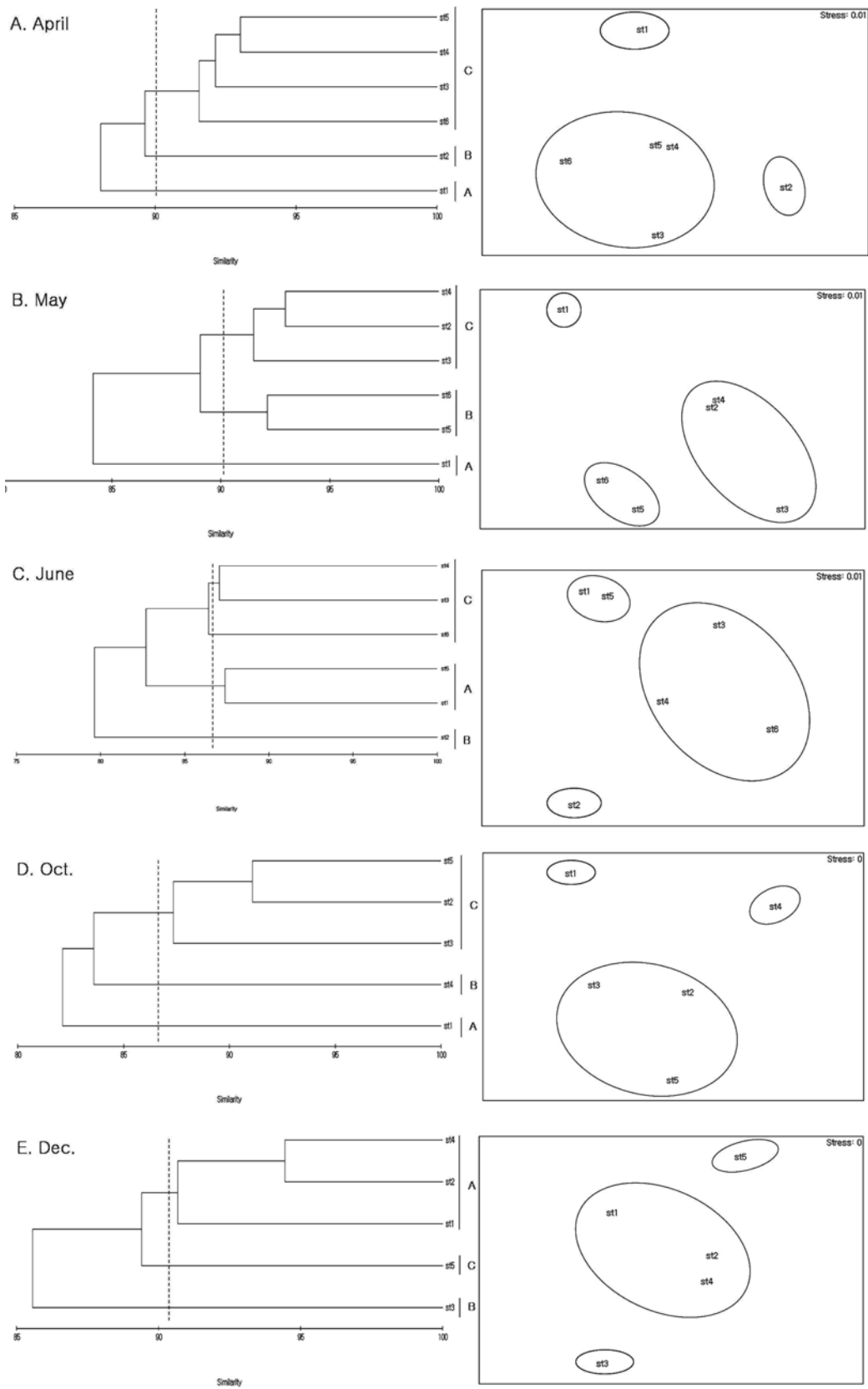


Fig. 7. Dendrogram of Bary-curtis similarity and non-metric multidimensional scaling (NMDS) ordination of the sampling sites based on the density of meiofauna at each month.

Table 3. Results of the ANOSIM and pair-wise tests between the meiofauna community and environmental factors. Analyses groups of the Bray-curtis transformed data. A, B, C: group of Bary-curtis similarity

		Global R	p value
Global test		0.926	0.067
Group compared			
April	A v B	*	*
	A v C	0.917	0.200
	B v C	0.917	0.200
Global test		0.955	0.017
Group compared			
May	A v B	1.000	0.250
	A v C	1.000	0.333
	B v C	0.917	0.100
Global test		0.909	0.017
Group compared			
June	A v B	1.000	0.333
	A v C	0.833	0.100
	B v C	1.000	0.250
Global test		0.810	0.100
Group compared			
October	A v B	0.778	0.250
	A v C	*	*
	B v C	0.778	0.250
Global test		0.810	0.200
Group compared			
December	A v B	0.556	0.500
	A v C	1.000	0.250
	B v C	*	*

4. 토 의

본 연구지역은 수심이 깊지 않고, 퇴적물의 이동이 많아 해저지형의 변화가 일어나는 지역이다. 이번 연구기간 중 퇴적물의 온도는 6.3~21.5°C까지 변화하였다. 이는 2007년 태안, 군산, 부안 앞바다의 퇴적물 온도변화 5.8~26.5°C, 6.7~26.8°C, 6.2~28.4°C보다 다소 적은 수치이다(국토해양부 2007). 하지만 본 연구와 비슷한 시기인 4, 5, 6, 10, 12월에 측정된 인천앞바다의 수온변화인 6.7~23.0°C와는 비슷한 값이다(국립해양조사원 2007). 염분은 29.2~31.6 psu의 범위에서 변화하여 태안, 군산, 부안 앞바다의 염분변화인 30.7~32.2 psu, 30.2~32.1 psu, 31.1~31.7 psu 보다 약간 큰 변화를 보였다. 퇴적물의 입도는 모든 정점에서 차이가 크지 않아 정점 간 물리적 환

경이 비슷하다는 것을 알 수 있었다.

본 연구지역은 해사채취사업이 시행되는 서해의 대표적인 사질지역이다. 이번 연구에서 중형저서동물은 전 정점에서 모두 10개 분류군이 나타났으며 이것은 국내의 중형저서동물에 대한 연구(김 등 2002; 민 등 2003; 김 등 2004a, 2004b)들에서 나타난 12~14개의 분류군에 비해 다소 적은 수치이지만 퇴적물환경이 사질이었던 과거 연구들과 비교했을 때는 비슷한 수치이다(민 등 2003; 김 등 2004a). 이러한 결과는 퇴적물이 중형저서동물이 서식하기에 유리하지 않은 조건인 사질로 구성되어 있기 때문으로 생각되어진다(Giere 1993). 각각의 정점에서는 5~9개의 분류군이 출현하여 국내 중형저서동물에 관한 다른 연구들과 비슷한 결과를 나타내었다(김과 이 2001; 김 등 2002; 민 등 2003).

연구 기간 중 중형저서동물은 모든 정점에서 24~207 indiv.10 cm⁻²가 출현하였다. 이는 우리나라 해초지역이나 조간대에서 연구된 236~8,136 indiv.10 cm⁻², 145~3,787 indiv.10 cm⁻²보다 크게 적은 수치이다(민 등 2003; 김 등 2004a, 2004b). 일반적으로 천해역에서 나타나는 개체수인 103~104 indiv.10 cm⁻²보다도 크게 적으며, 빈영양상태에서 나타나는 개체수인 101~102 indiv.10 cm⁻²와는 비슷한 수치이고(McIntyre 1977; Shirayama 1983), 심해와 사질연안에서 행하여진 외국의 연구에서 나타난 16~900 indiv.10 cm⁻²보다도 낮은 밀도이다(Grove et al. 2006; Harriague et al. 2006). 또한 퇴적물의 입도는 중형저서동물의 군집에 영향을 미치는 요소(Giere 1993; Snelgrove and Butman 1994)이므로 연구 지역과 비슷한 퇴적물 환경인 사질지역의 연구와 비교하였을 때, 대부분 주변에서 보고된 145~2,057 indiv.10 cm⁻²(김 등 2004b), 백령도, 어청도, 돌산도 주변의 438~2,234 indiv.10 cm⁻²(민 등 2003)에 비해서도 낮은 개체수를 나타내었다. 이러한 낮은 중형저서동물의 개체수는 환경변화에 민감하고 짧은 기간에도 군집의 변화가 심한 중형저서동물군집의 특성상 이 지역의 환경변화가 기존의 연구지역에 비해 많이 일어나고 있다고 생각된다. 특히 이 지역은 해사채취로 인하여 퇴적물의 이동이 많이 일어나고 지형의 변화가 자주 일어나 중형저서동물의 평균 개체수가 다른 지역에 비하여 적게 출현한다고 사료된다. 또한 연구기간 중 중형저서동물의 계절적 변동이 관찰되었는데 평균 중형저서동물의 개체수는 4월과 5월에는 거의 변화가 없었으나, 여름시기인 6월과 10월에 계속적으로 증가하다가 12월에 다시 감소하였다. 하지만 이를 확인하기 위하여 시행한 상관관계분석에서는 중형저서동물 분류군의 개체수 변화가 온도변화와 일부에서만 상관관계를 나타내었는데, 4월에는 응애류가 양의 상관관계를 나타내었으며(p<0.05), 5월에는 선충류와 동문동물류가 음의 상관관계(p<0.05), 6월에는 다모류

가 음의 상관관계($p < 0.05$), 10월에는 요각류가 음의 상관관계($p < 0.05$)를 나타내었고 12월에는 온도와 상관관계를 나타내는 분류군은 없었다. 또한 온도변화와 전체 개체수, 선충류, 요각류의 개체수 변화와의 상관관계 분석에서는 6~10월의 총 개체수의 변화가 양의 상관관계($p < 0.01$), 그리고 요각류의 개체수 변화가 양의 상관관계($p < 0.05$)를 나타내었다. 하지만 연구기간동안 지속적으로 유의할만한 상관관계를 나타내는 분류군은 없었다. 이 지역의 월별 중형저서동물과 세립질 퇴적물의 조성(%)과의 상관관계 분석에서 선충류($p < 0.05$), 요각류($p < 0.05$)는 양의 상관관계($p < 0.05$), 응애류는 음의 상관관계($p < 0.01$)를 가지는 것이 각각 한번씩 나타났다. 비록 중형저서동물은 퇴적물의 성질과 밀접한 관계가 있다고 알려져 있지만(Brown and McLachlan 1990; Villora-Moreno et al. 1991; Albertelli et al. 1999), 본 연구지역에서는 중형저서동물 분류군과 환경요인간의 지속적인 유의관계를 나타내지는 않았다. 즉 계절에 따른 중형저서동물의 개체수 변동은 반드시 수온의 계절적 변동과 퇴적물의 성질이 가장 큰 제한요소인 것은 아니며(Santos et al. 1996), 그 외에도 여러 가지 물리화학적 환경요인들이 있어서 생물과의 상호작용이 일어난다고 여겨진다.

중형저서동물의 생물량은 먹이원, 특히 유기탄소량과 매우 밀접한 관계가 있으며, 생물학적으로 chlorophyll a와 박테리아가 중형저서동물 군집에 영향을 미치는 것이 보고된 바 있다(Danovaro et al. 1995; Danovaro et al. 1999; Brown et al. 2001; Grove et al. 2006). 또한 중형저서동물과 대형저서동물은 유기물이 풍부한 환경에서 생물량이 크게 증가한다고 알려져 있으며, 중형저서동물은 대형저서동물에 비하여, 먹이 이용 효율이 높고, 대부분 상향조절(bottom-up controlled)이기 때문에 박테리아와 더불어 저서생태계의 에너지 흐름에 중요한 역할을 하고 있다(Harriague et al. 2006). 이번 연구에서 나타난 중형저서동물의 생물량은 $1.3 \sim 75.3 \mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 는 외국의 심해 지역에서 보고된 $2.8 \sim 1053.3 \mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 보다 매우 적은 양이다(Danovaro et al. 2002). 또한 비슷한 사질지역인 이탈리아의 모래해안의 $3 \sim 260 \mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$, 스페인의 해안의 $120 \sim 890 \mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 보다도 크게 적은 양이다(Rodriguez et al. 2003; Harriague et al. 2006). 국내에서 연구된 중형저서동물의 생물량은 보고가 미흡한 편이지만, 국내 연구 중 중형저서동물의 건조중량이 사질의 경우 $1,730 \sim 2,647 \mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$, 니질은 $1,544 \sim 2,277 \mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 보고된 바 있다(김 등 2004a). 생물량은 건조중량의 40%로 계산(Higgins and Thiel 1988)하며, 보통 중형저서동물의 생물량은 생물의 표면적을 기준으로 계산하기 때문에, 김 등(2004a)의 연구에서 나타난 결과를 환산하면 사질은 $692.0 \sim 1058.8 \mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$, 니질은 $617.6 \sim 910.8$

$\mu\text{gC} \cdot 10 \text{ cm}^{-2}$ 라고 할 수 있다. 본 연구지역의 중형저서동물의 생물량은 타 지역에 비해 적은 양을 나타내었는데, 이는 저서 환경이 빈영양상태이며, 특히 연구지역의 저질 생태계에서 차지하는 중형저서동물의 역할이 축소되어 있는 상태임을 예상할 수 있다. 또한 이번 연구에서는 해사채취구역과 비교연구로 수행한 정점 1과 6이 나머지 정점들보다 나머지 정점들보다 특별히 높은 생물량을 나타내지 않고 있다. 이렇게 연구지역에 현존하는 생물량이 낮고 정점들간의 특별한 차이가 나타나지 않는 이유는 이 지역 전체 저질 환경의 환경변화가 심하여 중형저서동물의 군집의 크기가 크게 유지되기 어려우며, 이에 따라 생물량이 낮게 나타난다고 생각된다. 하지만 외국의 경우, 중형저서동물의 행동, 생리, 성장률등의 이유 때문에 몇몇 분류군이나 특정 지역에서는 유기물의 침적작용과 중형저서동물의 생물량과 뚜렷한 상관관계를 나타내지 않는 경우(Pfannkuche 1993; Gooday et al. 1996; Pfannkuche et al. 2000)도 보고된 바 있기 때문에 중형저서동물의 생물량을 다른 연구지역과 비교하여 적게 유지시키는 이유가 연구지역 근처에서 행하여지고 있는 해사채취와 반드시 연관되어 있는지는 명확하지 않다.

생물의 군집을 이해하기 위하여 종 수준의 분석이 필요하지만, 몇몇의 연구를 통하여 여러 가지 지수를 속 수준 이상의 분류군으로 연구하여도 서식환경의 특성을 반영한다는 연구가 있었다(Heip et al. 1988; Warwick 1988; Moore and Bett 1989). 중형저서동물은 모든 분류군을 종 수준으로 분류하기가 사실상 불가능하고, 많은 시간과 노력이 필요하기 때문에 이번 연구에서는 주요 분류군 수준으로 분석하였다. 이번 연구를 인위적인 환경변화에 따른 중형저서동물의 군집변동에 초점을 맞추어 보면, 비해사채취구역은 평균 7.5개의 분류군이 관찰되었으며 해사채취구역은 6.65개의 분류군이 관찰되어 1개 분류군 차이를 보였다. 우리나라 가막만 지역의 연구에서 오염이 적은 지역은 13~16개의 분류군이 출현하였으며, 오염된 지역에서는 10개 이하의 분류군이 출현한 연구(김 등 2000)와 비교해 볼 때, 본 연구의 결과는 연구지역의 비해사채취구역과 해사채취구역 모두에 서식하는 분류군이 많지 않으며, 생물이 다양하게 출현하지 않았음을 알 수 있다. 분류군 다양성 지수는 최소 0.54에서 최대 1.79로 나타났는데 모두 정점 4에서 조사되었다. 이것은 비해사채취구역인 정점 1의 0.73~1.55와 비슷한 값이지만 변화의 폭이 크다. 이러한 수치는 기존의 가막만의 중형저서동물연구에서 나타난 0.6~1.8과 크게 다르지는 않지만 만 밖의 정점에서 나타난 1.6~1.8보다는 낮은 수치이다(김 등 2000). 하지만 좀 더 정확한 평가를 위하여 이 지역의 중형저서동물 분류군의 다양성 지수를 통한 연구외에 우점 분류군인 선충류나 요각류의 종 수준의 연구가 필요하다. 이번 연구에서

는 요각류를 과 수준까지 분류함으로써 요각류가 같은 지역에서도 계절별로 출현양상이 변화한다는 것까지는 확인할 수 있었다.

선충류와 저서성 요각류의 비(N/C ratio)는 일반적으로 요각류가 선충류에 비해 오염에 민감하게 반응하기 때문에(Raffaelli and Mason 1981), 환경이 악화될수록 커지는 것으로 알려져 있으며, 오염을 모니터링할 수 있는 하나의 지표로서 사용되어져 왔다(Coull et al. 1981; Warwick 1981; Amjad and Gray 1983; Sandulli and De Nicola 1990; 김 등 1998; 김 등 2000; 김 등 2004a, 2004b). 선충류와 저서성 요각류의 비(N/C ratio)는 전체 평균 1.31으로 매우 낮은 값을 나타내었다. 특히 6월은 모든 정점에서 요각류가 선충류보다 우점하는 결과를 나타내었다. 이전에 수행된 국내 중형저서동물의 연구에서 나타난 선충류와 저서성 요각류의 비는 0~∞로 나타났으며(김 등 2000), 오염이나 교란이 증가하면 수치가 증가하는 방향으로 나타났다. 또한 퇴적물이 본 연구와 비슷한 사질 갯벌지역의 연구에서는 5.8~25.2로 나타났다(김 등 2004a). 이번 연구는 해사채취구역과 비해사채취구역이 큰 차이를 보이지 않게 낮게 나타났으며, 이전 연구결과들보다 낮은 수준을 유지하였다. 연구지역이 해사채취로 인하여 퇴적물의 물리적 변화가 일어나는 지역임을 생각하면, 선충류와 저서성 요각류의 비는 항상 환경변화나 오염에 비례하여 증가하는 것은 아니며, 특히 물리적 환경의 변화가 주로 이루어지는 곳에서는 선충류와 저서성 요각류의 비가 큰 의미를 가지기 힘들다고 사료된다.

환경요인 및 월별 중형저서동물의 군집을 기초로 분석한 결과 NMDS 배열법에 의해 구분된 Group은 비해사채취구역인 정점 1을 중심으로 한 Group A, 해사채취구역인 Group B와 C로 나누어졌으며(Fig. 7A-E), ANOSIM 평가를 실시한 결과 유의한 차이를 보였다(Table 3) 해사채취로 인한 해저지형의 변화는 우리나라에서도 이미 보고된 바 있다(김 등 2005). 해사채취는 해저에 구덩이 지형을 만들며, 이러한 지형은 조석, 파랑과 같은 해수의 이동 변화를 야기할 수 있으며(Maa et al. 2004) 이로 인한 퇴적물의 이동은 저서생태계에 영향을 미친다(Van Dalfsen et al. 2000). 또한 완벽하게 훼손된 저서 생태계는 회복하는데 1~15년 이상이 걸리며, 훼손 전과 다른 생물상으로 변하는 것이 보고되었다(Clark 2001; Szymelfenig et al. 2006). 본 연구에서는 해사채취로 인한 퇴적물의 교란에 있어서 커다란 차이가 있을 것으로 예상되었음에도 불구하고, 월별로 비해사채취구역과 해사채취구역의 생물학적 Group 분석은 일정하게 나타나지 않았다. 이러한 이유는 정점의 개수가 적고, 비해사채취구역과 해사채취구역이 지역적으로 크게 떨어져있지 않으며, 생물 개체수가 많지 않아 Group별 특징이 뚜렷하게 보이지 않았던 것으로 생

각된다. 반대로 연구대상 해역에서 해사채취구역의 중형저서동물상이 활발하게 복구되고 있음을 추측하게 한다.

해양환경변화를 생물의 반응을 통해 연구하는 것은 생물군집의 변화와 물리적 환경변화는 직접적으로 연결되어 있기 때문이다. 생물은 물리화학적 방법으로 파악하기 힘든 오염에 대해서 반응하며, 환경이 훼손된 곳의 생태계 복구에도 생물체가 직접 관여한다는 점에서 매우 유용하다(Borja et al. 2000). 한편 생물학적 다양성은 물리화학적 요소가 제한요소인 환경에서는 낮게 나타나고, 생물학적인 요소가 지배하는 환경에서는 높게 나타난다(Odum 1971). 또한 중형저서동물은 개체가 작고, 어디에나 분포하며, 개체수가 많고, 짧은 생활사를 가지며, 빠른 물질대사를 하기 때문에 교란지역에서 빠르게 복구되기도 한다(Schratzberger et al. 2002). 본 연구기간에 비해사채취구역과 해사채취구역의 중형저서동물의 개체수가 크게 차이가 나지 않으며 계절별로 역전현상이 일어나기도 했다. 이는 생물학적 복구 작업은 계속적으로 일어나고 있다고 생각되어지지만, 지속적인 교란이 이 지역 전체의 생물 개체수의 저하를 유도하고 있다고 생각된다.

사 사

본 연구는 국토해양부 해양생태계 기본조사 사업과 태안군 관할해역 골재채취에 따른 환경 조사 및 사후환경조사 사업의 지원으로 수행되었습니다. 시료의 채취에 도움을 아끼지 않은 (주)대흥의 정주현 대표이사과 한국종합환경연구소의 연구원 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- 국립해양조사원 (2007) 연안수온통계. <http://www.nori.go.kr/>. Accessed 19 Dec 2008
- 국토해양부 (2007) 해양생태계 기본조사. 국립수산물학원, 861 p
- 김동성, 민원기, 김용서 (2002) 독도 주변 해역에 서식하는 중형저서생물. *Ocean and Polar Res* **24**(4):419-427
- 김동성, 민원기, 이재학 (2004b) 대부도 방아머리 연안 퇴적물에 서식하는 중형저서동물 군집변동. *환경생물* **22**(2): 308-320
- 김동성, 민원기, 제종길 (2004a) 강화도 여차리 니질갯벌과 사질갯벌에 서식하는 중형저서동물의 군집구조. *한국습지학회지* **6**(1):43-55
- 김동성, 이재학 (2000) 시화호 오염수 방류에 따른 중형저서생물의 군집변동. *환경생물* **18**(2):279-290
- 김동성, 이재학 (2001) 시화호 퇴적물에 서식하는 중형저서동물의 군집구조에 관하여. *환경생물* **19**(2):159-171
- 김동성, 제종길, 신상호 (2000) 가막만의 중형저서생물을 활용한 오염 모니터링. *한국수산물학회지* **33**(4):217-225

- 김동성, 최진우, 강래선 (2001) 영광원전 주변 해역의 조간대 갯벌에 서식 중형저서생물. *Ocean and Polar Res* **23**(2): 109-119
- 김동성, 최진우, 제종길, 이재학 (1998) 서해 대부분 갯벌에 서식하는 중형저서생물의 군집구조. *해양연구* **20**:81-87
- 김백운, 이상호, 양재삼 (2005) 서해 배타적경제수역(EEZ)내 해사채취구역의 지형변화. *한국지구과학회지* **26**(8):836-843
- 민원기, 김동성, 최청일 (2003) 해초지와 주변 퇴적물에 서식하는 중형저서동물 군집 특성비교. *한국해양학회지* 「바다」 **8**(1):1-13
- 이재학, 고병설, 박홍식 (1997) 인천연안역 저서동물의 종조성을 이용한 환경평가. *한국수산학회지* **30**(5):771-781
- 임현식, 홍재상 (1994) 해양저서동물군집을 이용한 진해만의 환경평가. 종별 개체수 분포특성에 따른 그래프분석기법의 적용. *한국수산학회지* **27**(5):659-672
- 장학봉, Grigalunas T, 한경남 (2004) 바다모래 채취의 경제, 환경적 통합평가 모형에 관한 연구(II). *한국해양수산개발원*, 116 p
- 한국해양연구원 (1999) 연안어장 환경모니터링 기법 개발. *한국해양연구원*, BSPG 98282-00-1196-3, 535 p
- Albertelli G, CovazziHarriague A, Danovaro R, Fabiano M, Frascetti D, Pusceddu A (1999) Differential responses of bacteria, meiofauna and macrofauna in a shelf area (Ligurian Sea, NW Mediterranean): role of food availability. *J Sea Res* **42**(1):11-26
- Amjad S, Gray JS (1983) Use of the nematodes copepod ratio as an index of organic pollution. *Mar Pollut Bull* **14**(5):178-181
- Borja A, Franco J, Perez V (2000) A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within european estuarine and coastal environments. *Mar Pollut Bull* **40**(12):1100-1114
- Brown AC, McLachan A (1990) *Ecology of sandy shores*. Elsevier, Amsterdam, 328 p
- Brown CJ, Lamshead PJD, Smith CR, Hawkins LE, Farely R (2001) Phytodetritus and the abundance and biomass of abyssal nematodes in the central, equatorial Pacific. *Deep-Sea Res I* **48**(2):555-565
- Burgess R (2001) An improved protocol for separation meiofauna from sediments using colloidal silica sols. *Mar Ecol Prog Ser* **214**:161-165
- Byrnes MR, Hammer RM, Thibaut TD, Snyder DB (2004) Physical and biological effects of sand mining offshore Alabama, U.S.A. *J Coast Res* **20**(1):6-24
- Chapman PM (1990) The sediment quality triad approach to determining pollution-induced degradation. *Sci Total Environ* **97-98**:815-825
- Chapman PM, Long ER, Dexter RN (1987) Synoptic measures of sediment contamination, toxicity and infaunal community composition (the Sediment Quality Triad) in San Francisco Bay. *Mar Ecol Prog Ser* **37**(1):75-96
- Clark RB (2001) *Marine pollution*. 5th ed. Oxford University Press, Oxford, 236 p
- Clarke KR (1993) Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Aust J Ecol* **18**(1):117-143
- Coull BC, Hicks GRF, Wells BJ (1981) Nematode/Copepod ratio for monitoring pollution: a rebuttal. *Mar Pollut Bull* **12**(11):378-381
- Danovaro R, Croce ND, Fabiano MA, Papadopoulou N, Smith C, Tselepidis A (1995) Meiofauna of deep eastern Mediterranean Sea: distribution and abundance in relation to bacterial biomass, organic matter composition and other environmental factors. *Prog Oceanogr* **36**:329-341
- Danovaro R, Dinet A, Duneveld G, Tselepidis A (1999) Benthic response to particulate fluxes in different tropic environments: a comparison between the Gulf of Lions Catalan Sea (western Mediterranean) and the Cretan sea (eastern Mediterranean). *Prog Oceanogr* **44**:287-312
- Danovaro R, Gambi A, Croce ND (2002) Meiofauna hotspot in the Atacama Trench, eastern south pacific ocean. *Deep-Sea Res I* **49**(5):843-857
- Folk RL (1974) *Petrology of sedimentary rocks*. Henphills, Austin Texas, pp 15-28
- Giere O (1993) *Meiobenthology: the microscopic fauna in aquatic sediment*. Springer-Verlag, Berlin, 328 p
- Gooday AJ, Pfannkuche O, Lamshead PJD (1996) An apparent lack of response by metazoan meiofauna to phytodetritus deposition in the bathyal north-eastern Atlantic. *J Mar Biol Assoc UK* **76**(2):297-310
- Grove SL, Probert PK, Berkenbusch K, Nodder SD (2006) Distribution of bathyal meiofauna in the region of the Subtropical front, Chatham Rise, south-west Pacific. *J Exp Mar Biol Ecol* **330**(1):342-355
- Harriague AC, Gaozza L, Montella A, Misic C (2006) Benthic communities on a sandy Ligurian beach (NW Mediterranean). *Hydrobiologia* **571**(1):383-394
- Heip C, Warwick RM, Carr MR, Herman PMJ, Huys R, Smol N, Van Holsbeke K (1988) Analysis of community attributes of the benthic meiofauna of frierfjord/langesundfjord. *Mar Ecol Prog Ser* **46**(1-3):171-180
- Higgins RP, Thiel H (1988) *Introduction to the study of meiofauna*. Smithsonian Institution Press. Washington DC, 488 p
- Huys R, Gee JM, Moore CG, Hamond R (1996) Marine and

- brackish water harpacticoid copepods. Part 1. Synopses of the British Fauna (New Series). FSC Publications, London, 352 p
- Kim DS, Je JG, Lee JH (2000) The community structure and spatial distribution of meiobenthos in the Kanghai tidal flat, west coast of Korea. *Ocean Res* **22**(1):15-23
- Maa JPY, Hobbs CH, Kim CH, Wei E (2004) Potential impacts of sand mining offshore of Maryland and Delaware: Part 1-Impacts on physical oceanographic processes. *J Coast Res* **20**(1):44-60
- McIntyre AD (1977) Effects of pollution on inshore benthos. In: Coull BC (ed) *Ecology of marine benthos*. University of South Carolina Press, Columbia, pp 301-318
- Moore CG, Bett BJ (1989) The use of meiofauna in marine pollution impact assessment. *Zool J Linn Soc* **96**(3): 263-280
- Odum EP (1971) *Fundamentals of ecology*. Saunders company, Philadelphia, 574 p
- Pfannkuche O (1993) Benthic response to the sedimentation of particulate organic matter at the BIOTRANS station, 47°N, 22°W. *Deep-Sea Res II* **40**(1-2):135-149
- Pfannkuche O, Sommer S, Kähler A (2000) Coupling between phytodetritus and the small-sized benthic biota in the deep Arbian Sea: analyses of biogenic sediment compounds. *Deep-Sea Res II* **47**(14):2805-2833
- Raffaelli DG, Mason CF (1981) Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods. *Mar Pollu Bull* **12**(5):158-163
- Rodriguez JG, Lastra M, Lopez J (2003) Meiofauna distribution along a gradient of sandy beaches in northern Spain. *Estuar Coast Shelf Sci* **58**:63-69
- Santos PJP, Castel J, Souza-Santos LP (1996) Seasonal variability of meiofaunal abundance in the oligo-mesohaline area of the gironde estuary, France. *Estuar Coast Shelf Sci* **43**(5):549-563
- Sandulli R, De Nicola M (1990) Pollution effects on the structure of meiofaunal communities in the bay of Naples. *Mar Pollu Bull* **21**(3):144-153
- Schratzberger M, Dinmore TA, Jennings S (2002) Impacts of trawling on the diversity, biomass and structure of meiofauna assemblages. *Mar Biol* **140**(1):83-93
- Shirayama Y (1983) Size structure of deep-sea meio- and macrobenthos in western Pacific. *Int. Revue ges. Hydrobiologia* **68**(6):799-810
- Snelgrove PVR, Butman CA (1994) Animal-sediment relationships revisited: cause versus effect. *Oceanogr. Mar Ann Rvn Rev* **32**:111-177
- Szymelfenig M, Kotwicki L, Graca B. (2006) Benthic recolonization in post-dredging pits in the Puck Bay (Southern Baltic Sea). *Estuar Coast Shelf Sci* **68**(3-4):489-498
- Van Dalssen JA, Essink E, Madsen HT, Birkund J, Romero J, Manzanera M (2000) Differential response of macrozoobenthos to marine sand extraction in the North Sea and the western Mediterranean. *ICES. J Mar Sci* **57**(5):1439-1445
- Villora-Moreno S, CapaccioniAzzati R, GarciaCarrascosa AM (1991) Meiobenthos of sandy beaches from the Gulf of Valencia (Western Mediterranean): ecology of interstitial polychaetes. *Bull Mar Sci* **48**(2):376-385
- Warwick RM (1981) The nematode/copepod ratio and its use in pollution ecology. *Mar Pollu Bull* **12**(10):329-333
- Warwick RM (1988) The level of taxonomic discrimination required to detect pollution effects on marine benthic communities. *Mar Pollu Bull* **19**(6):259-268

Received Jan. 13, 2009

Revised Mar. 11, 2009

Accepted Jun. 3, 2009