

서해 주문도 연안 사질 조하대에서의 해사채취가 중형저서동물 군집에 미치는 영향 연구

강태욱 · 민원기¹ · 홍재상² · 김동성^{1,*}

한국해양과학기술원 해양생태계연구부, ¹한국해양과학기술원 동해연구소
²인하대학교 자연과학대학 해양학과

Effect of Sand Extraction on Meiobenthic Community of Jangbong-do in the Eastern Yellow Sea of Korea

Teawook Kang, Won-gi Min¹, Jae-Sang Hong² and Dongsung Kim^{1,*}

Ocean Science Research Department, KIOST, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

¹*East Sea Research, KIOST Hujeong, Jukbyeon, Uljin-gun, Gyeongsangbuk-do, Korea*

²*Department of Oceanography, College of Natural Science
Inha University, Incheon 402-751, Korea*

Abstract - The objective of the study survey was to determine the effect of marine sand extraction on community composition and rate of recolonization of the meiobenthos following cessation of mining activities. Because of meiobenthic distribution in nature, high abundance, intimate association with sediments, fast reproduction, benthic larva period, sensitivity to pollution and rapid life histories, meiobenthos are widely regarded as ideal organisms to study the potential ecological indicator of natural and anthropogenic stresses. The community structure of meiobenthos was studied at seven stations within sandy tidal and sub tidal zones in Jangbongdo in the Yellow Sea, Korea from Aug. 2006 to Dec. 2007. Meiobenthic samples were collected by three core samples, with a 3.6 cm in diameter, from each sediment sample taken with a Smith-McIntyre Grab. It was found that sand mining often causes complete removal of the sediment and the damage to the habitats of meiobenthos. This study in the effect showed that sand mining resulted in a reduction in total abundance and biomass of meiobenthos in mining area. The finding of this study further showed that initial restoration of abundance and biomass within one year of the cessation of sand mining.

Key words : Yellow Sea, subtidal zone, grain size

서 론

우리나라에서 주택, 도로, 항만공사 등의 건설에 필요

한 골재의 수요는 1992년 1억 8,700만^m에서 1997년 2억5,900만^m으로 가장 많은 양의 골재를 필요로 하였다가, 그 이후 IMF와 같은 경기 침체로 일시적으로 감소를 보였다. 그러나 다시 경기가 활성화되면서 골재 수요가 늘어나기 시작하여 2002년에는 2억 1,700만^m에 이르고 있다. 골재의 수급은 하천 모래가 주를 이루어 왔

* Corresponding author: Dongsung Kim, Tel. 054-780-5210,
Fax. 054-780-5219, E-mail. dskim@kiost.ac

으나 1990년대 이후 사용량의 증가로 인하여 점차 고갈되어 갔고, 이로 인하여 바닷모래의 공급이 늘어나는 추세로 바뀌었다. 그러나 바닷모래에는 철근 등을 부식시키는 염분으로 말미암아 초기에는 사용을 기피하는 경향이 있었으나, 점차로 세척 기술 등의 발달에 의한 염분의 제거가 가능하게 되어 바다 모래의 사용량은 점차로 증가하게 되었다(Cho and Chang 2003).

해사채취는 일반적으로 일정량의 해사를 할당된 광구수역 내에서 집중적으로 채취를 하며, 한 지역에서 많은 양의 해사채취는 해양환경에 영향을 준다. 그리고 해사채취가 해양 환경에 줄 수 있는 생각하지 못했던 다양한 영향과 피해들이 나타날 수 있기 때문에, 이에 대한 근본적인 문제 해결 방법이 아주 시급한 상황이 되었다. 그럼에도 해사채취로 인하여 나타나는 문제들에 대한 대책을 마련하기 위한 기초 자료는 매우 부족하다. 지금까지 이루어진 해사채취에 의한 영향으로 나타나는 해양 환경 변화는 해저지형, 퇴적물 조성, 대형저서동물들의 변화에 대한 연구가 주를 이루었다(Boyd *et al.* 2004). 일부 연구결과를 살펴보면, 해사채취지역에서 대형저서생물의 다양도, 서식밀도 그리고 생체량의 감소를 가지고 온다고 보여주고 있다(Newell *et al.* 2004; Simonini *et al.* 2005).

해사채취는 특히 저서 생물 군집에 단·장기적 변화를 가져오게 된다. 일차적으로 저서생물들의 기존 서식처가 파괴되고, 더불어 이동능력이 거의 없는 저서생물들은 그들의 서식처에서 사라지게 된다. 해사채취가 끝난 후에 새로 가입되는 서식생물 역시 새롭게 변화된 저질 환경의 영향을 받게 된다. 변화된 서식환경에는 이에 적응하는 새로운 저서동물군집이 가입하게 되어 새로운 생물상이 형성된다(Clark 2001). 최근 연구에 의하면 해사채취 지역의 생물상의 회복 과정은 빠르게 성장

하는 기회중에 의해 먼저 회복이 시작되고, 해사채취가 중단되고 다시 안정적인 환경이 만들어지면 다양한 종들로 서서히 교체되는 천이현상을 보여 준다(Sarda *et al.* 2000; Van Dalftsen *et al.* 2000).

중형저서동물은 높은 서식밀도, 저서성 유생생활, 짧은 세대기간을 갖는 특성을 보이는 동물들로 대형저서동물에 비하여 짧은 기간의 환경 변화에도 군집변화를 보인다고 알려져 있다(Sandulli and De Nicola 1990). 그러나 우리나라 해역에서는 저서생태계 내에서 중형저서동물에 관한 연구가 아직 많이 미흡한 상태이다. 또한 해사채취가 해양 환경 변화에 민감하게 반응을 나타내는 중형저서동물 군집에 대해서는 연구가 거의 이루어지지 않았다(Back *et al.* 2009).

우리나라 경기만에는 과거 대형 사퇴가 많이 존재하였으나, 해사채취 등의 인위적인 훼손으로 인하여 현재에는 많은 사퇴가 소실된 상태이다. 따라서 인위적인 교란지역과 자연지역의 연구 해역을 대조지역으로 선정하여 그 변화과정을 살펴봄으로써 생태계에서의 중형저서동물이 해사채취로 인한 영향을 알아보고자 하였다. 본 연구에서는 인천 인근의 장봉도 해역에서 해사채취에 따른 저서생태계 변화를 연구하였다.

재료 및 방법

1. 조사지역 및 시기

본 연구는 강화도 남쪽 약 6km 해상에 위치한 장봉도(37° 31' 07" N, 126° 19' 4" E) 인근의 수심 20m 내외의 주문지점에서 실시되었다(Fig. 1). 조사지역의 반일주조형의 조석 해역으로 조사기간 동안에 평균 수심은 8.1m로 나

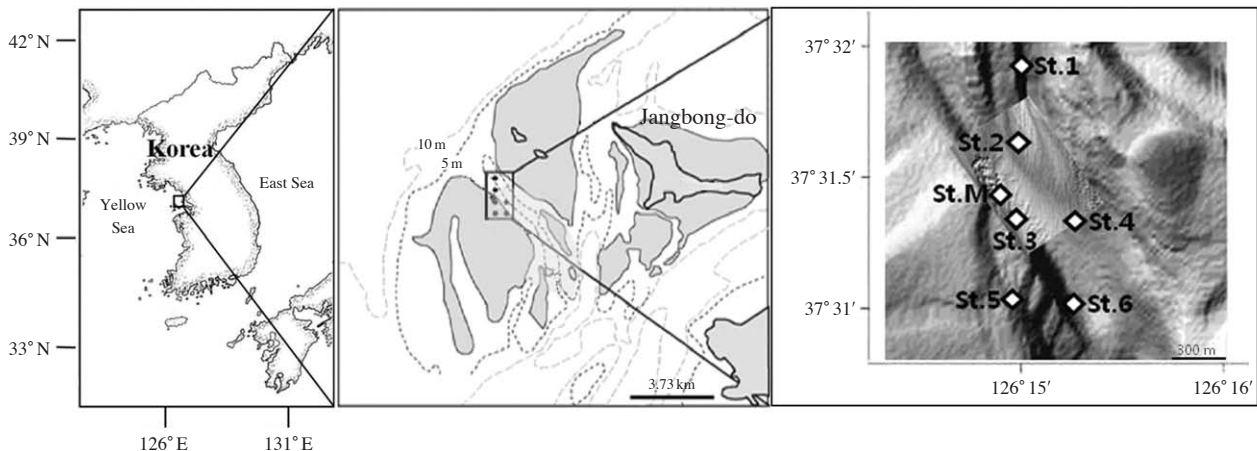


Fig. 1. Location of sampling station in sand mining area.

Table 1. Sampling period of study area

Area	Frequency	Period	The elapse of dredging time
Jumoon mining area	1st	2006. 08. 05	Before 53 days
	2nd	2006. 10. 31	Dredging time
	3rd	2006. 11. 30	Dredging time
	4th	2007. 01. 04	After 25 days
	5th	2007. 08. 20	After 253 days
	6th	2007. 11. 06	After 331 days
	7th	2007. 12. 27	After 383 days

Table 2. Sampling station and depth of study area

Station	Latitude	Longitude	Depth (m)
St.1	N37° 31.955	E126° 15.049	7.5
St.2	N37° 31.649	E126° 15.039	7.9
St.3	N37° 31.343	E126° 15.029	9.2
St.4	N37° 31.336	E126° 15.363	8.1
St.5	N37° 31.030	E126° 15.020	5.7
St.6	N37° 31.022	E126° 15.353	9.2
St.M	N37° 31.445	E126° 15.915	9.2

타났다. 장봉도 해역은 석모수도와 장봉수도 사이에 발달한 천해사퇴지역이며 북서쪽의 장안사퇴는 경기만 서수도와 접하며 동수도의 조류영향을 직접적으로 받는 곳이다. 조류의 방향은 대체로 북동, 남서 방향으로 개방된 해역이기 때문에 강한 조류(유속 3.5~4.2 knot)에 의하여 해수의 교환이 비교적 원활하게 이루어지고 있다(Ministry of Oceans and Fisheries 2007).

조사 정점은 해사채취 이전에 해사채취 예정 지역을 중심으로 약 300 m 격자간격으로 16개의 정점을 사전 조사하였고, 이후 해사채취 후, 해사채취 정점 M 그리고 16개의 정점 중 정점 M과 비슷한 환경영향과 군집구조를 보이는 인근에 정점 6개를 선정하여, 총 7개 정점에서 시료채취 및 분석이 이루어졌다(Fig. 1).

본 연구의 조사 지역에서 해사채취 실적을 보면, 2006년 10월 21일부터 2006년 12월 10일까지 38,000 m³의 해사를 고정식 방법으로 해사채취가 진행되었다.

해사채취로 인한 해저 지형의 변화는 2007년 2월 해양수산부에서 발간한 해사채취의 친환경적 관리방안 연구(III)의 해저지형분석 자료를 활용하였다. 해사채취 이후의 해저지형을 분석하기 위해 2007년 1월 10일에서 19일까지는 다중빔 음향측심기(SeaBat 8124)를 사용하여 해사채취로 인한 지형을 정밀하게 측정하여 정확한 지형자료를 획득하였다(MOF 2007).

시료 채집 시기는 해사채취 이전인 2006년 8월 5일과 시범채취가 시작(2006년 10월 21일)된 이후 2~7차 조사를 2006년 10월 31일, 11월 30일, 2007년 1월 4일, 8월

20일, 11월 6일, 12월 27일에 조사를 실시하였다(Table 1). 본 연구 조사기간 동안 정점의 위치는 DGPS를 이용하여 기록하였으며(Table 2), 각 정점에서의 채집은 반경 30 m 안에 위치하도록 하였다.

2. 생물 채집 및 분석

중형저서동물의 시료 채취는 Smith McIntyre Grab을 사용하여 각 정점 당 3회 퇴적물 시료를 채취하고, 직경 3.6 cm 크기의 아크릴로 된 튜브를 사용하여 각각의 부시료를 채취하였다. 채취된 퇴적물 시료는 로즈 벵갈(Rose Bengal)을 혼합한 5% 중성 포르말린으로 고정하였다. 시료는 Silica-gel Ludox HS-40에 넣어 원심분리를 하여 퇴적물로부터 중형저서동물을 분리하였다(Robert 2001). 중형저서동물 서식밀도는 퇴적물 표층 3 cm까지 해부현미경으로 계수하여 분석하였다. 중형저서동물의 생체량은 Shirayama (1983)의 중형저서동물의 주요 분류군별 개체 당의 ash free dry weight (μg) 환산값을 이용하여 나타내었다.

중형저서동물의 군집구조가 정점별로 유의한 차이를 파악하기 위하여 집괴분석(CLUSTER analysis)을 실시하였다. 집괴분석은 각 정점에 출현한 분류군의 서식밀도를 Fourth root 값으로 변환 후 Bray-Curtis 유사도 지수를 이용하여 집괴분석을 하였으며, 집괴분석 결과 내에서 각 정점의 통계적 유의한 차이를 확인하기 위하여 SIMPROF test를 진행하였다. 이는 PRIMER V.6를 사용하였다(Clarke and Gorley 2006).

3. 환경요인 분석

수층의 환경요인인 수온, 염분, 수심은 생물 채집 시기에 CTD(SBE 19-01)를 이용하여 측정하였다. 퇴적환경요인 분석을 위해 퇴적물의 온도를 현장에서 측정하였고, 퇴적물의 입도 분석을 위해 각 조사 시에 퇴적물을 50 mL 튜브를 사용하여 퇴적물 표층을 담아 냉동 보관하여 실험실로 운반하고 입도 분석 전까지 보관하였다. 퇴적물의 입도는 Folk and Ward (1957) 방법에 따라, 평균입도(Mz), 분급도(SD), 왜도(Skewness) 및 첨도(Kurtosis)를 측정하였다.

결 과

1. 염분, 수온, 퇴적물 온도

수층의 평균 염분분포는 27.4~31.3 psu의 범위를 보였

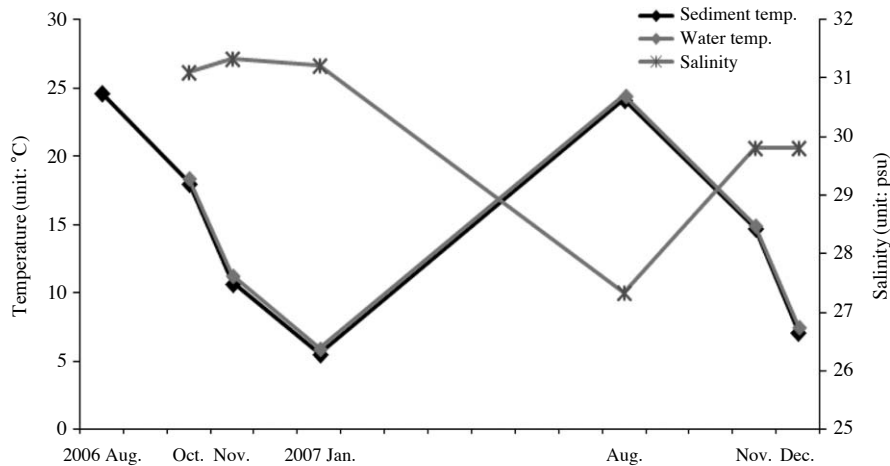


Fig. 2. Sediment temperature, Water temperature and Salinity of study area.

으며, 2006년 11월에 31.3 psu로 조사기간 중에 가장 높았고, 2007년 8월에 27.3 psu로 조사기간 중에 가장 낮았다. 연구기간 중 수온의 평균 분포는 5.9~24.4°C 범위로 값이 나타났다. 겨울인 2007년 1월에 수온은 5.9°C로 가장 낮았고, 여름인 2007년 8월에 24.4°C로 가장 높았다. 퇴적물 평균 온도는 5.6~24.7°C로 나타났다. 2006년 8월에는 24.7°C로 가장 높았고, 2007년 1월에는 가장 낮은 값인 5.6°C를 보였다. 퇴적물 온도와 수온은 거의 유사한 값을 보였다(Fig. 2).

2. 퇴적물 환경 특성

해양수산부에서 발간한 해사채취의 친환경적 관리방안 연구(III)의 해저지형분석 자료의 결과, 해사채취로 인하여 형성된 웅덩이는 사퇴 동쪽에 위치하고 있어 수로 내에 포함되었다. 수로지역에 해사채취로 인하여 대략 36개의 다양한 크기의 웅덩이가 형성되었고, 웅덩이 크기는 최소 7.7×8.9 m에서 최대 103.0×42.7 m, 깊이는 0.33~3.65 m로 나타났다(MOF 2007). 각 조사 정점과 해사채취가 이루어진 지역 그리고 해저지형을 한곳에 모아 하나의 사진으로 나타내었다. 채취가 이루어져 웅덩이가 형성된 지역의 아래쪽에 정점 M이 들어가 있고, 이 지역에 인접하여 정점 3이 위치하였다. 정점들은 수로 내에 들어가 있으며, 정점 1, 3, 5, 6, M은 사퇴의 경사면에 위치하여 있다(Fig. 1).

퇴적상 결과를 보면, 조사기간 동안에 정점별·시기별 모래 함량 값이 61.71~99.72%로 평균 96.9% 이상 함유하고 있었으며, 자갈 성분은 나타나지 않았다. 조사지역의 퇴적물은 대부분 모래지역으로 나타났고, 단지 해

사채취 기간 중 정점 M과 채취 종료 후 정점 4에서는 silty sand로 나타났다(Table 3). 해사채취가 시작되기 이전 조사인 2006년 8월의 퇴적상의 모래 함량비를 보면, 6개의 정점들에서 98% 이상으로 나타났다. 해사채취 작업중인 2006년 10월 조사에서 나타난 모래 함량비는 해사채취 지역인 정점 M에 근접한 정점 3에서 94.43%로 값이 낮아졌고, 다른 정점에서는 98% 이상을 유지하였다. 해사채취 지역인 정점 M에서는 79.32% 값을 보였다. 해사채취가 계속 진행되고 있는 시기인 2006년 11월의 퇴적상 모래 함량 비를 보면, 정점 M을 제외한 정점들에서는 97% 이상의 모래 함량비를 보였고, 정점 M에서는 61.71%로 조사기간 동안에 정점별, 시기별 가장 낮은 모래 함량비 값을 보였다. 해사채취 종료 후인 2007년 1월 조사에서 정점 M의 모래 함량비는 99.54%로 높아졌고, 정점 4를 제외한 정점들에서 98% 이상의 모래 함량비를 보였다. 정점 4에서는 88.44%의 값을 보였다. 이후 2007년 8월, 11월, 12월에 해사채취 정점 M을 포함한 모든 정점들의 퇴적물 내 모래 함량비는 95% 이상의 높은 값을 보였다(Fig. 3).

퇴적물 내 Clay와 Silt의 함량비 역시 채취영향지역에서 다른 정점에 비해 변동이 나타났다(Table 3). 각 정점별·시기별 퇴적물 내 Clay와 Silt의 함량비 값을 보면, 해사채취가 이루어지는 기간인 2006년 10월과 11월에 채취의 영향을 받는 지역에서 변동이 나타났다. 해사채취 지역인 정점 M에서는 2006년 10월, 11월에 Clay와 Silt의 함량 비율이 높게 나타났다. 그리고 해사채취지역에 인접하여 있는 정점 3에서는 2006년 10월에 Clay와 Silt 함량비가 다른 정점보다 높게 나타났다. 정점 4에서도 채취가 끝난 직후 조사인 2007년 1월에 Clay와 Silt

Table 3. Sediment analysis of study area

No.	Composition (%)				Statistical parameters				Sediment type	
	GRAVEL	SAND	SILT	CLAY	Mz(Phi)	ST.De.	Skew.	Kurt.		
Aug. 2006	st.1	0	98.27	0.99	0.74	2.353	0.512	0.177	1.223	S
	st.2	0	98.38	0.92	0.69	2.125	0.491	0.226	1.131	S
	st.3	0	98.2	1.03	0.77	2.082	0.459	0.178	1.184	S
	st.4	0	98.4	0.92	0.69	2.151	0.524	0.275	1.146	S
	st.5	0	99.25	0.43	0.32	1.791	0.44	0.154	1.52	S
	st.6	0	98.5	0.85	0.64	1.772	0.562	0.264	1.775	S
Oct. 2006	st.1	0	98.88	0.64	0.48	2.2	0.477	0.101	1.116	S
	st.2	0	99.72	0.16	0.12	1.962	0.344	0.211	0.817	S
	st.3	0	94.43	3.18	2.39	2.679	0.811	0.26	1.395	S
	st.4	0	98.19	1.03	0.78	2.063	0.451	0.273	1.04	S
	st.5	0	99.8	0.11	0.08	1.786	0.385	0.085	1.403	S
	st.6	0	99.08	0.53	0.4	1.671	0.456	0.097	1.403	S
	st.M	0	79.32	17.12	3.56	3.097	1.428	0.388	1.297	zS
Nov. 2006	st.1	0	97.9	1.2	0.9	2.609	0.552	0.237	1.117	S
	st.2	0	99.71	0.17	0.13	1.901	0.317	0.268	0.915	S
	st.3	0	99.4	0.35	0.26	1.655	0.36	-0.053	1.257	S
	st.4	0	99.25	0.43	0.32	1.937	0.335	0.286	0.891	S
	st.5	0	99.13	0.5	0.37	2.254	0.582	0.027	1.143	S
	st.6	0	99.19	0.46	0.35	1.671	0.398	0.018	1.524	S
	st.M	0	61.71	29.75	8.54	3.79	2.254	0.287	1.589	zS
Jan. 2007	st.1	0	99.25	0.43	0.32	2.545	0.487	0.026	1.101	S
	st.2	0	99.47	0.3	0.23	1.936	0.379	0.327	1.011	S
	st.3	0	98.01	1.14	0.85	2.442	0.58	0.22	1.202	S
	st.4	0	88.44	7.97	3.59	3.125	0.928	0.115	1.312	zS
	st.5	0	99.56	0.25	0.19	2.105	0.479	0.189	1.076	S
	st.6	0	98.9	0.63	0.47	1.492	0.391	0.252	1.014	S
	st.M	0	99.54	0.26	0.2	1.675	0.427	0.038	1.342	S
Aug. 2007	st.1	0	98.05	1.06	0.88	2.006	0.464	0.424	1.161	S
	st.2	0	98.87	0.55	0.57	1.837	0.308	0.331	1.385	S
	st.3	0	97.43	1.26	1.31	2.176	0.53	0.234	1.267	S
	st.4	0	98.53	0.77	0.7	2.039	0.409	0.228	0.982	S
	st.5	0	98.85	0.63	0.52	1.895	0.391	0.423	1.569	S
	st.6	0	98.93	0.51	0.56	1.49	0.401	0.299	1.025	S
	st.M	0	96.71	1.36	1.93	2.7	0.573	0.156	1.147	S
Nov. 2007	st.1	0	95.96	1.73	2.31	2.5	0.699	0.347	1.151	S
	st.2	0	98.57	0.35	1.08	1.832	0.282	0.293	1.258	S
	st.3	0	97.88	1.06	1.05	1.748	0.365	0.185	2.158	S
	st.4	0	98.06	0.82	1.12	1.888	0.365	0.413	1.587	S
	st.5	0	98	0.45	1.55	1.993	0.46	0.413	1.199	S
	st.6	0	98.1	0.52	1.38	1.538	0.324	-0.066	0.743	S
	st.M	0	97.97	0.68	1.34	2.034	0.504	0.386	1.168	S
Dec. 2007	st.1	0	93.82	4.16	2.02	2.407	0.845	0.418	1.492	S
	st.2	0	95.52	1.72	2.76	1.958	0.59	0.577	2.259	S
	st.3	0	98.61	0.5	0.89	1.935	0.359	0.346	1.03	S
	st.4	0	97.47	0.77	1.75	1.91	0.419	0.467	1.739	S
	st.5	0	98.78	0.41	0.81	1.671	0.357	-0.036	1.426	S
	st.6	0	97.53	0.96	1.51	1.567	0.52	0.224	1.507	S
	st.M	0	98.08	0.52	1.4	2.118	0.345	-0.084	1.112	S

함량비가 높게 나타났다. 그 외의 다른 정점들의 시기별 Clay와 Silt 함량비는 매우 낮은 값을 나타내었다 (Fig. 3).

해사채취가 진행 전 조사인 2006년 8월 조사에서 나

타난 전체 정점의 퇴적물의 입도는 1.77~2.35 Φ 범위를 보였고, 평균 2.05 Φ 를 나타냈다. 해사채취 직후 조사인 2006년 10월에서 입도 결과를 보면, 해사채취 지역인 정점 M에서 3.097 Φ 값을 나타내었고, 이 외의 정점들에서

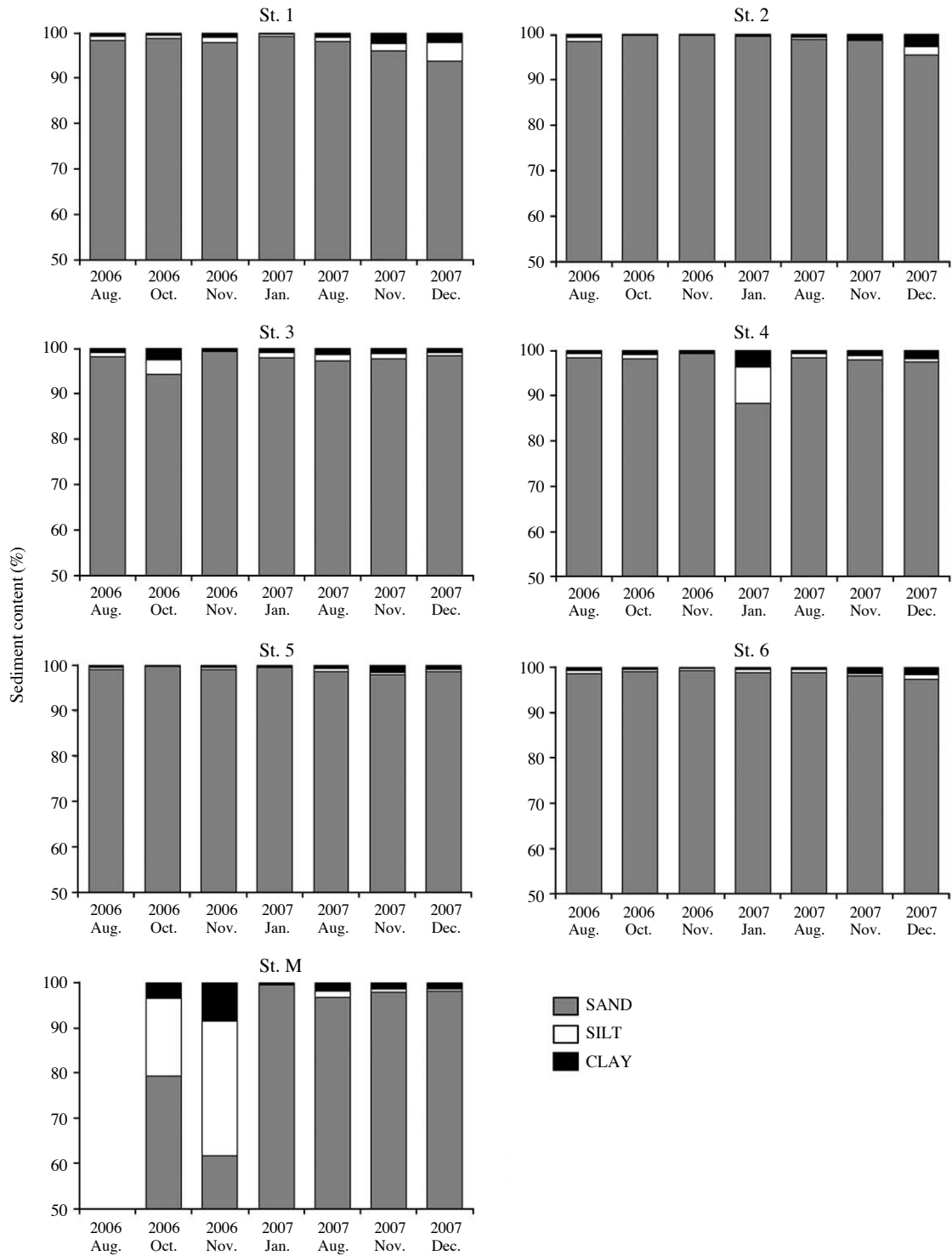


Fig. 3. Sand content (%) of sediment at each period in study area.

는 1.67~2.68 Φ 범위를 보이고 평균 2.06 Φ 를 나타냈다. 해사채취가 진행 중인 2006년 11월의 조사에서 입도 결과를 보면, 해사채취가 이루어지고 있는 지역인 정점 M

에서는 3.79 Φ 값이 나타났고, 이 외의 정점들에서는 1.66~2.61 Φ 범위를 보여 평균 2.00 Φ 를 나타냈다. 해사채취가 종료된 후 각 정점들의 입도 결과를 보면, 해사채취

지역인 정점 M은 평균 2.13 Φ 로 해사채취 기간보다 조립되어졌고, 이 외의 정점들에서도 2007년 1월 정점 4에서 값이 3.13 Φ 로 높은 값이 나온 것을 제외하고는 1.49 ~ 2.54 Φ 범위로 나타나 평균 2.00 Φ 를 나타냈다(Table 3).

3. 조사 시기에 따른 중형저서동물 군집 특성

각 시기별 조사정점에서 출현한 중형저서동물의 평균 서식밀도를 살펴보면, 2007년 12월 정점 5에서 가장 낮

Table 4. Abundance of meiofauna at each station and period in study area (Unit: ind. 10 cm⁻²)

Taxon \ Station	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.M	
Aug. 2006	Nematodes	240.3 ± 56.4	217.0 ± 34.6	362.7 ± 68.4	128.3 ± 13.1	69.7 ± 19.9	67.0 ± 16.0	
	Harpacticoids	8.3 ± 4.2	50.3 ± 18.7	29.3 ± 19.9	6.0 ± 2.6	9.0 ± 1.5	11.3 ± 6.8	
	Nauplius	4.0 ± 4.0	33.3 ± 11.3	34.3 ± 9.4	10.0 ± 1.0	17.0 ± 4.2	24.3 ± 17.9	
	Gastrotrichs	25.3 ± 14.2	24.0 ± 18.3	16.3 ± 8.2	3.7 ± 2.3	5.7 ± 3.2	6.0 ± 4.5	
	Ciliophorans	6.0 ± 3.2	13.7 ± 8.1	10.7 ± 6.2	5.7 ± 2.0	4.3 ± 3.8	2.7 ± 0.7	
	Others	13.7 ± 9.4	11.3 ± 6.6	21.7 ± 14.6	8.7 ± 7.4	4.7 ± 3.5	5.3 ± 3.8	
	Total	297.7 ± 80.6	349.7 ± 94.1	475.0 ± 86.9	162.3 ± 15.6	110.3 ± 20.6	116.7 ± 43.5	
	Oct. 2006	Nematodes	242.0 ± 59.4	185.7 ± 18.9	54.1 ± 18.2	133.2 ± 38.6	75.2 ± 13.9	119.6 ± 28.8
Harpacticoids		5.4 ± 2.0	196.5 ± 115.1	6.0 ± 6.0	10.8 ± 9.3	13.5 ± 3.5	116.4 ± 44.5	23.8 ± 19.0
Nauplius		2.7 ± 2.7	36.3 ± 2.9	1.1 ± 1.1	4.3 ± 4.3	10.3 ± 6.7	20.6 ± 6.0	33.0 ± 27.4
Gastrotrichs		13.5 ± 6.8	15.7 ± 8.9	5.4 ± 4.6	7.6 ± 6.0	7.0 ± 3.5	10.3 ± 5.7	4.3 ± 2.9
Ciliophorans		8.1 ± 5.9	14.1 ± 8.5	1.1 ± 1.1	3.2 ± 1.9	4.3 ± 3.5	1.1 ± 1.1	4.9 ± 1.9
Others		3.8 ± 3.0	6.0 ± 4.1	3.2 ± 2.5	6.0 ± 5.2	9.7 ± 5.6	8.1 ± 3.8	2.2 ± 1.6
Total		275.5 ± 57.9	454.2 ± 134.1	70.9 ± 30.8	165.1 ± 47.6	120.2 ± 21.1	276.1 ± 56.3	160.8 ± 103.9
Nov. 2006		Nematodes	39.0 ± 19.4	66.0 ± 17.7	78.5 ± 19.5	95.3 ± 36.0	180.3 ± 36.0	67.1 ± 37.2
	Harpacticoids	3.8 ± 2.2	21.1 ± 5.9	31.4 ± 14.7	16.8 ± 9.8	3.2 ± 2.5	69.3 ± 57.9	3.8 ± 3.0
	Nauplius		3.8 ± 2.2	3.8 ± 1.4	2.7 ± 1.4	9.2 ± 3.8	6.0 ± 2.7	2.2 ± 1.4
	Gastrotrichs		0.5 ± 0.5		0.5 ± 0.5			0.5 ± 0.5
	Ciliophorans		0.5 ± 0.5	2.2 ± 2.2	2.7 ± 2.7	8.1 ± 8.1	6.5 ± 6.5	
	Others	0.5 ± 3.4	1.1 ± 4.4	1.1 ± 3.4	0.5 ± 6.0	2.7 ± 7.7		4.3 ± 7.9
	Total	43.3 ± 21.7	93.1 ± 20.0	116.9 ± 33.1	118.6 ± 43.7	203.5 ± 37.9	148.9 ± 101.4	102.3 ± 29.1
	Jan. 2007	Nematodes	91.5 ± 15.9	31.9 ± 4.7	31.4 ± 7.2	21.7 ± 3.5	39.0 ± 16.7	25.4 ± 6.2
Harpacticoids		8.1 ± 2.5	11.9 ± 9.6	2.2 ± 0.5	1.1 ± 1.1	9.7 ± 5.0	7.6 ± 3.8	15.4 ± 12.2
Nauplius		0.5 ± 0.5	3.8 ± 1.4		3.8 ± 3.8	2.2 ± 2.2	4.3 ± 2.4	4.9 ± 0.0
Gastrotrichs		3.2 ± 2.5	6.0 ± 3.0	2.7 ± 2.0	1.1 ± 1.1	4.9 ± 4.9	2.7 ± 1.4	2.4 ± 2.4
Ciliophorans		0.5 ± 0.5		1.1 ± 1.1		1.6 ± 1.6	1.1 ± 1.1	
Others		0.5 ± 8.4	2.2 ± 6.8	0.5 ± 4.3		1.1 ± 2.5	1.6 ± 3.6	2.4 ± 2.4
Total		104.5 ± 15.5	55.8 ± 14.4	37.9 ± 10.4	27.6 ± 8.2	58.5 ± 18.5	42.8 ± 10.3	67.4 ± 21.9
Aug. 2007		Nematodes	255.5 ± 7.6	103.9 ± 15.1	196.0 ± 27.8	147.8 ± 9.7	147.2 ± 66.4	112.6 ± 31.6
	Harpacticoids	13.0 ± 9.0	10.3 ± 3.8	4.3 ± 0.5	29.2 ± 10.4	33.6 ± 25.5	18.4 ± 3.3	18.4 ± 6.7
	Nauplius	5.4 ± 2.2	9.7 ± 3.4	6.5 ± 1.9	2.7 ± 1.4	13.0 ± 5.0	18.4 ± 8.9	9.7 ± 0.0
	Gastrotrichs	20.0 ± 5.2	18.9 ± 9.8	13.0 ± 5.0	24.4 ± 8.9	7.0 ± 2.9	5.4 ± 0.5	11.4 ± 8.3
	Ciliophorans	4.9 ± 4.9	2.7 ± 2.7	1.6 ± 1.6	1.1 ± 1.1	4.3 ± 4.3		2.2 ± 2.2
	Others	8.1 ± 1.1	5.4 ± 1.1	7.0 ± 2.2	10.8 ± 3.1	3.2 ± 1.1	3.8 ± 1.1	6.5 ± 2.7
	Total	306.9 ± 1.9	151.0 ± 28.2	228.4 ± 24.9	216.0 ± 13.5	208.4 ± 67.5	158.6 ± 39.3	286.4 ± 45.6
	Nov. 2007	Nematodes	105.0 ± 15.2	151.6 ± 3.8	198.1 ± 23.8	99.1 ± 25.9	172.7 ± 85.6	91.5 ± 25.0
Harpacticoids		22.7 ± 7.1	31.9 ± 12.7	21.7 ± 7.1	14.1 ± 3.9	13.5 ± 9.5	29.8 ± 12.8	6.5 ± 0.9
Nauplius		2.7 ± 1.1	4.9 ± 3.2	0.5 ± 0.5		2.7 ± 2.0	1.6 ± 1.6	
Gastrotrichs		7.6 ± 5.2		4.9 ± 2.8	2.2 ± 2.2	1.1 ± 0.5	4.3 ± 2.4	6.0 ± 4.4
Ciliophorans		2.7 ± 2.7	3.8 ± 3.0	8.7 ± 7.1	2.2 ± 2.2	7.6 ± 7.6	1.1 ± 1.1	1.1 ± 1.1
Others		10.3 ± 1.5	8.7 ± 2.6	10.3 ± 1.6	9.2 ± 1.1	10.8 ± 3.2	1.6 ± 0.5	7.6 ± 1.1
Total		151.0 ± 34.9	200.8 ± 43.2	244.1 ± 24.2	126.7 ± 12.1	208.4 ± 117.5	129.9 ± 51.4	231.7 ± 48.7
Dec. 2007		Nematodes	53.6 ± 22.1	28.7 ± 7.2	23.8 ± 1.4	26.5 ± 5.5	14.1 ± 8.5	30.9 ± 11.4
	Harpacticoids	3.8 ± 2.0	4.3 ± 2.4	3.2 ± 3.2	11.4 ± 5.9	2.2 ± 1.1	22.7 ± 12.3	1.1 ± 0.5
	Nauplius	1.1 ± 1.1	2.2 ± 0.5	2.2 ± 1.4		1.1 ± 1.1	2.2 ± 1.1	2.7 ± 2.7
	Gastrotrichs	3.8 ± 3.8	0.5 ± 0.5	0.5 ± 0.5	1.6 ± 1.6		4.9 ± 4.1	1.6 ± 1.6
	Ciliophorans	3.8 ± 3.8		0.5 ± 0.5		1.6 ± 1.6	3.2 ± 3.2	1.1 ± 1.1
	Others	6.5 ± 2.2	1.6 ± 1.1	1.6 ± 0.5	1.1 ± 0.0	2.7 ± 0.0	2.7 ± 1.1	0.5 ± 0.0
	Total	72.5 ± 32.4	37.4 ± 3.8	31.9 ± 5.3	40.6 ± 6.6	21.7 ± 8.7	66.6 ± 27.9	51.4 ± 2.0

은 값으로 평균 22 ± 9 inds. 10 cm^{-2} 가 나타났으며, 2006년 8월 정점 3에서 475 ± 87 inds. 10 cm^{-2} 로 가장 높은 값을 나타냈다 (Table 4).

전체 서식밀도의 시기별 변동은 2006년 8월에서 2007년 1월로 하계에서 동계로 가면서 감소하였고, 마찬가지로 2007년 8월에서 12월로 하계에서 동계로 가면서 감소하는 경향이 나타났다. 해사채취가 이루어진 정점 M에서는 2006년 10월에서 11월과 2007년 1월로 가면서 감소하는 경향을 보이고, 8월에 증가하였다. 그 이후 11월과 12월에는 계속 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 4).

조사 해역에서 출현한 가장 우점한 중형저서동물 분류군은 선충류(Nematode)로 나타났으며, 저서성 요각류(Harpacticoids)와 갑각류의 유생(Nauplius), 그리고 복모동물류(Gastrotrichs)가 그 다음으로 높은 조성비를 보였

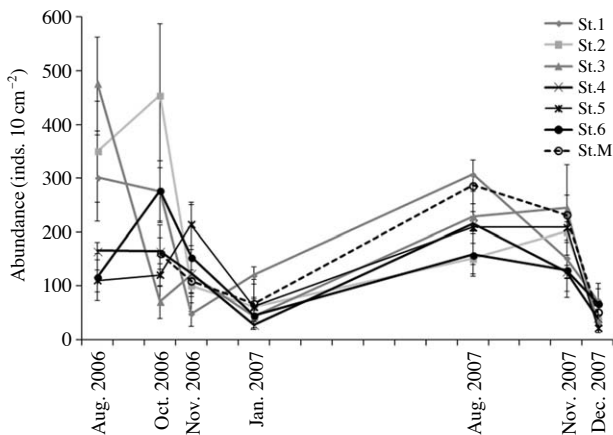


Fig. 4. Abundance graph of meiobenthos at each station and period in study area.

다. 이상의 상위 4 분류군은 전체 서식밀도의 90% 이상을 차지하였다 (Fig. 5).

출현한 중형저서동물 분류군 중 가장 우점하여 나타난 선충류의 서식밀도 변동은 전체 서식밀도 변동과 거의 유사한 패턴인 하계에서 동계로 가면서 서식밀도가 감소하는 경향이 나타났다. 해사채취가 이루어진 정점 M에서는 채취가 진행중인 2006년 10월과 11월에는 비슷한 값을 보이다가 채취가 완료되고 2007년 1월에 감소하였고 8월에 증가하였다. 이후 2007년 11월과 12월에는 계속 감소하는 경향을 나타냈다 (Fig. 6).

두 번째로 우점하는 저서성 요각류의 정점별·시기별 서식밀도의 변동 결과를 보면, 정점 2와 정점 6에서 2006년 여름과 가을 조사에서 다른 정점과 시기에 비해 많은 개체수가 나타나고 전체적으로 모든 정점에서는 30 inds. 10 cm^{-2} 미만의 값을 보였다. 해사채취가 이루어진 정점 M에서는 채취가 진행중인 2006년 10월에 24 ± 19 inds. 10 cm^{-2} 가 출현하고, 11월에 4 ± 3 inds. 10 cm^{-2} 가 나타났다. 이후 채취가 종료되고, 2007년 1월 하계에는 15 ± 12 inds. 10 cm^{-2} , 그리고 8월에 18 ± 7 inds. 10 cm^{-2} , 11월에 7 ± 1 inds. 10 cm^{-2} , 12월에 1 ± 1 inds. 10 cm^{-2} 가 출현하여 선충류보다 매우 낮은 서식밀도를 보였다 (Fig. 7).

조사기간 동안 시기별 총 중형저서동물의 생체량은 $8.8 \pm 3.2 \sim 239.3 \pm 55.5 \mu\text{g } 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 나타났다. 하계인 2006년 8월 정점 3에서는 전체 조사기간 중 가장 높은 값인 $239.3 \pm 55.5 \mu\text{g } 10 \text{ cm}^{-2}$ 가 나타났고, 동계인 2007년 12월 정점 5에서 $8.8 \pm 3.2 \mu\text{g } 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 전체 조사기간 중에 가장 낮은 값을 나타냈다. 중형저서동물 생체량의 각 시기별 변동 경향은 서식밀도와 유사하게 나타났다. 우점 분류군인 선충류의 생체량을 살펴보면, 전체 중형저서동

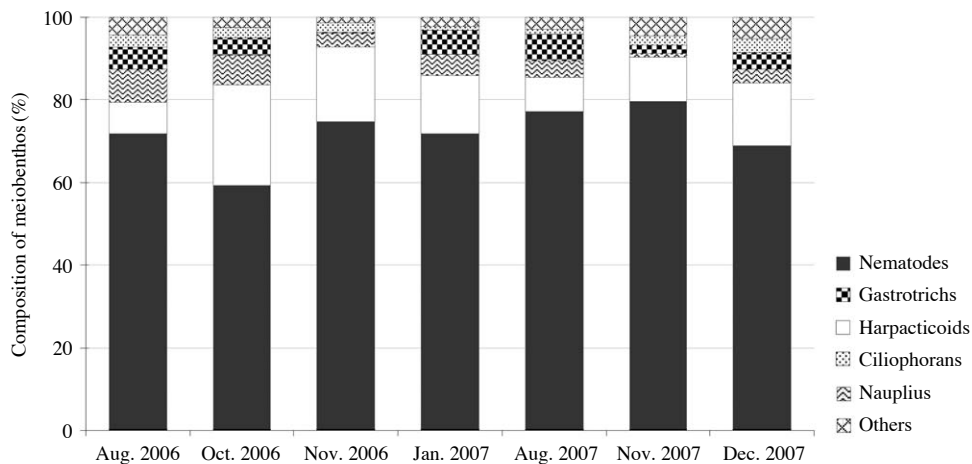


Fig. 5. Composition of meiobenthos inhabiting in study area.

물 생체량과 유사한 경향을 나타내고 있으며, 하계에서 동계로 가면서 감소하는 경향을 보인다. 해사채취가 이루어진 정점 M에서의 경향을 살펴보면, 2006년 11월에

감소하였다가 2007년 1월과 8월에는 계속 증가하는 경향을 보였다. 이후 11월에 감소를 보였다가 12월에 크게 감소하는 경향을 나타냈다(Table 5).

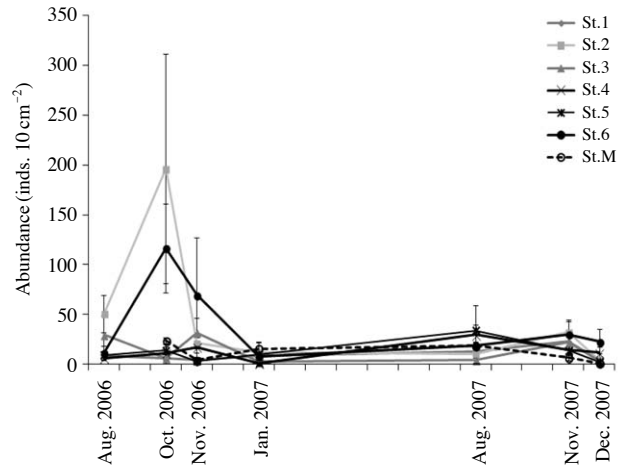
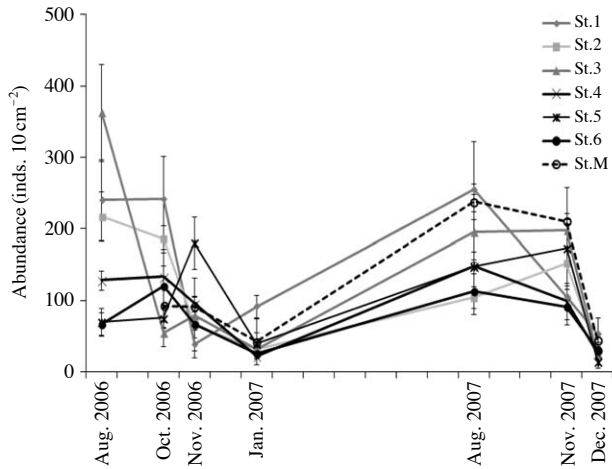


Fig. 6. Abundance graph of nematodes at each station and period in study area.

Fig. 7. Abundance graph of harpacticoids at each station and period in study area.

Table 5. Biomass of major taxa at each station and period in study area

(Unit: $\mu\text{g } 10\text{ cm}^{-2}$)

Taxon \ Station		St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.M
Aug. 2006	Nematodes	71.2 ± 16.9	57.4 ± 15.3	71.1 ± 12.9	35.9 ± 2.9	13.8 ± 5.5	12.8 ± 1.0	
	Harpacticoids	4.7 ± 3.1	15.3 ± 9.5	19.2 ± 5.2	12.0 ± 6.8	8.8 ± 4.7	2.2 ± 1.4	
	Others	42.7 ± 20.2	65.1 ± 38.1	149.0 ± 41.5	37.5 ± 11.1	29.5 ± 17.5	27.0 ± 14.4	
	Total	118.6 ± 29.7	137.9 ± 54.5	239.3 ± 55.5	85.4 ± 3.8	52.0 ± 25.6	42.0 ± 14.8	
Oct. 2006	Nematodes	54.5 ± 13.9	48.1 ± 5.6	13.2 ± 4.7	47.9 ± 14.4	22.2 ± 5.5	33.7 ± 16.7	20.1 ± 13.0
	Harpacticoids	24.0 ± 19.0	32.4 ± 2.3	0.8 ± 1.0	12.0 ± 14.6	2.6 ± 1.6	21.6 ± 14.6	22.8 ± 18.0
	Others	53.9 ± 21.4	47.8 ± 24.2	8.3 ± 8.1	96.9 ± 69.1	70.2 ± 59.3	47.6 ± 35.3	14.5 ± 8.5
	Total	132.4 ± 16.4	128.4 ± 17.1	22.4 ± 12.9	156.7 ± 81.1	95.0 ± 53.0	102.9 ± 20.9	57.4 ± 35.9
Nov. 2006	Nematodes	12.3 ± 7.8	18.6 ± 11.1	24.0 ± 11.0	18.1 ± 8.7	40.7 ± 11.5	20.5 ± 14.6	2.2 ± 2.2
	Harpacticoids	58.7 ± 63.1	6.4 ± 7.1	4.2 ± 2.8	2.8 ± 1.5	1.0 ± 1.2	9.6 ± 10.8	44.9 ± 55.0
	Others	0.1 ± 0.1	24.0 ± 23.0	25.3 ± 22.4	1.5 ± 1.1	57.8 ± 49.3	6.0 ± 3.8	69.8 ± 69.8
	Total	71.2 ± 49.8	49.0 ± 22.0	53.5 ± 20.5	22.4 ± 10.9	99.5 ± 60.4	36.2 ± 26.2	116.9 ± 61.7
Jan. 2007	Nematodes	23.2 ± 7.7	7.1 ± 0.2	7.3 ± 2.5	4.4 ± 1.7	15.6 ± 8.7	6.7 ± 1.7	12.9 ± 4.6
	Harpacticoids	77.9 ± 84.7	1.1 ± 0.7	5.0 ± 5.2	0.1 ± 0.1	1.4 ± 0.2	2.9 ± 1.0	2.3 ± 2.0
	Others	3.0 ± 1.8	7.6 ± 3.2	1.7 ± 0.5	12.8 ± 12.8	14.2 ± 8.3	50.3 ± 47.3	7.2 ± 6.2
	Total	104.0 ± 70.9	15.8 ± 2.7	14.0 ± 4.9	17.2 ± 14.5	31.2 ± 11.5	59.9 ± 47.6	22.3 ± 0.4
Aug. 2007	Nematodes	25.8 ± 6.9	50.7 ± 0.9	52.8 ± 7.9	38.9 ± 14.1	45.7 ± 15.9	23.2 ± 2.0	53.9 ± 18.4
	Harpacticoids	5.3 ± 2.4	10.8 ± 4.6	17.0 ± 9.5	12.2 ± 9.8	6.2 ± 5.8	6.8 ± 1.3	15.6 ± 10.3
	Others	44.8 ± 25.7	54.6 ± 18.5	23.7 ± 5.7	21.5 ± 10.2	24.0 ± 6.3	10.2 ± 9.2	56.4 ± 26.3
	Total	76.0 ± 27.4	116.0 ± 19.3	93.5 ± 17.0	72.6 ± 26.4	75.8 ± 26.7	40.2 ± 10.5	125.9 ± 52.4
Nov. 2007	Nematodes	63.0 ± 4.9	22.5 ± 5.7	52.2 ± 10.4	53.3 ± 12.0	35.6 ± 12.1	26.8 ± 4.2	48.2 ± 6.8
	Harpacticoids	6.9 ± 4.5	1.2 ± 0.8	1.1 ± 0.5	7.7 ± 3.8	5.7 ± 5.6	3.3 ± 0.6	7.3 ± 5.9
	Others	11.6 ± 1.1	39.4 ± 31.3	13.9 ± 7.1	85.1 ± 50.1	9.7 ± 2.5	10.0 ± 5.3	37.8 ± 26.0
	Total	81.5 ± 3.3	63.1 ± 35.7	67.3 ± 16.8	146.2 ± 56.5	51.0 ± 17.1	40.1 ± 9.5	93.3 ± 17.2
Dec. 2007	Nematodes	13.5 ± 5.0	8.2 ± 1.8	10.5 ± 2.4	7.9 ± 1.5	2.7 ± 1.3	15.8 ± 8.5	12.5 ± 4.0
	Harpacticoids	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.2	0.3 ± 0.3	2.1 ± 0.5	0.2 ± 0.1	53.3 ± 55.0	0.1 ± 0.1
	Others	77.8 ± 69.1	28.3 ± 26.8	2.0 ± 1.3	1.5 ± 0.8	5.9 ± 3.2	7.7 ± 0.8	1.4 ± 0.9
	Total	91.5 ± 73.4	36.9 ± 27.2	12.8 ± 3.3	11.5 ± 1.2	8.8 ± 3.2	76.7 ± 53.6	14.0 ± 3.1

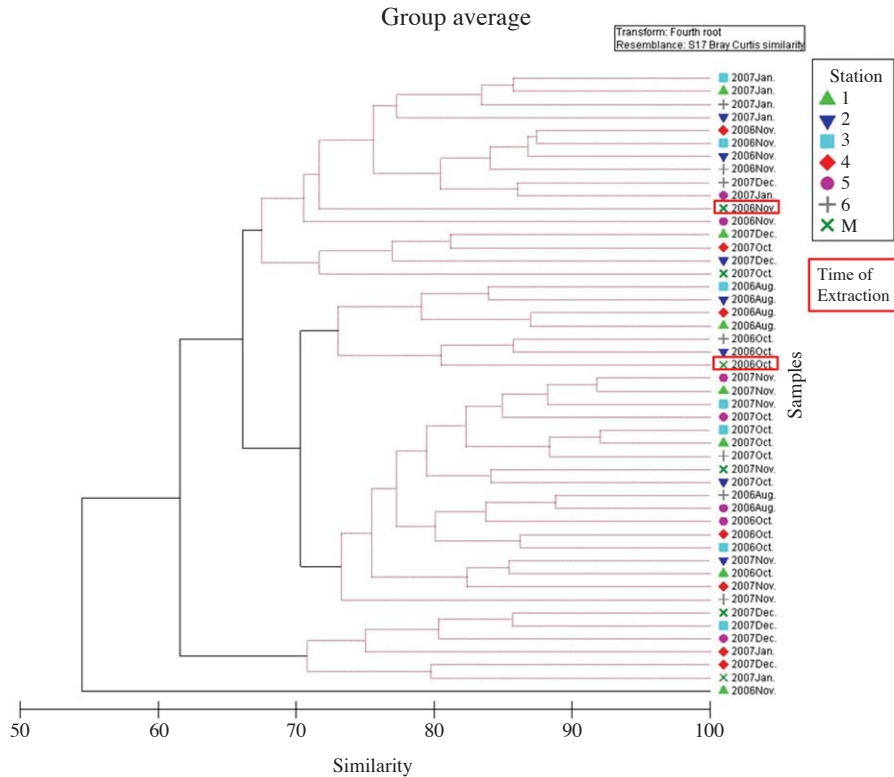


Fig. 8. CLUSTER analysis based in Bray-Curtis similarities among the meiofaunal assemblages. Broken lines (Red) indicate the same group by SIMPROF analysis.

4. 집괴분석

조사기간 동안에 나타난 중형저서동물의 각 분류군과 개체수의 자료를 이용하여 집괴분석을 실시하였다. 집괴분석 중 SIMPROF test 분석을 통하여 각 시기별 정점은 유의한 차이를 보이는 총 4개의 그룹으로 구분되는 것을 확인할 수 있었다 (SIMPROF test, $P < 0.05$; Fig. 8). 하지만 해사채취가 이루어진 시기인 2006년 10월과 11월 해사채취지역인 정점 M의 군집은 다른 조사 정점들의 군집과 구분되어 그룹이 형성되어지지 않아 유의한 차이를 나타내지는 않았다 (Fig. 8). 2006년 10월 해사채취정점 M의 군집은 해사채취 전인 8월 군집과 그룹을 이루었고, 2006년 11월 해사채취정점 M은 해사채취 종료 약 1년 후인 2007년 10월, 11월 군집들과 그룹을 나타냈다.

5. 채취 영향에 따른 중형저서동물 군집 구조 변화

본 연구에서는 해사채취가 중형저서동물 군집에 미치는 영향을 파악하고자 퇴적상의 변화에 따라 영향지역과 비영향지역을 비교하여 알아보았다. 해사채취 정점인 M과 인접하여 있는 정점 3, 4의 경우 다른 정점들에 비

하여 퇴적물 평균 입도의 변화 폭이 크게 나타났다. 반면, 조사기간 동안 정점 M, 3, 4를 제외한 정점들에서는 퇴적물의 평균입도의 변화가 크게 나타나지 않았다. 해사채취의 영향으로 퇴적상의 변화가 나타나는 지역의 정점을 하나의 그룹으로 만들어 '영향지역'이라 하고, 그 외의 지역인 정점 1, 2, 5, 6을 하나의 그룹으로 만들어 '비영향지역'으로 구분하였다.

퇴적상의 변화에 따른 지역적 구분을 하였을 때, 이와 함께 중형저서동물 군집의 변화를 파악하였다. 이러한 두 지역으로 구분을 하여 분석한 결과, 2006년 10월 해사채취가 진행중인 시기의 조사에서는 영향지역에서의 퇴적물이 해사채취로 인해 평균입도가 세립화되어지면서 비영향지역과는 가장 큰 차이가 나타났다. 영향지역의 경우 평균입도가 2.61Φ 이고, 비영향지역의 경우 1.90Φ 로 다른 시기의 조사에 비해 가장 큰 차이가 나타났다 (Fig. 9). 이 시기에 전체 중형저서동물의 서식밀도는 영향지역에서 급감하여 $132.3 \text{ inds. } 10 \text{ cm}^{-2}$ 값을 나타내고, 비영향지역에서는 $281.5 \text{ inds. } 10 \text{ cm}^{-2}$ 로 이전 조사보다 증가한 값을 보였다. 이후 2006년 11월부터는 영향지역과 비영향지역의 퇴적물에 있어서 평균 입도의 차이가 0.50Φ 이

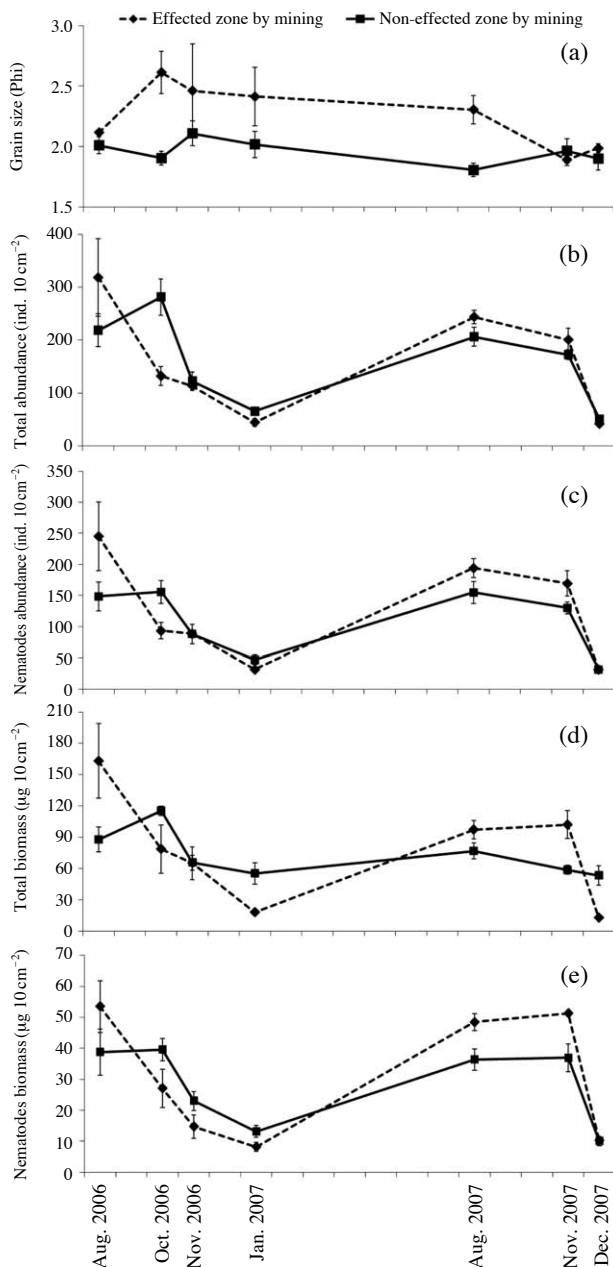


Fig. 9. Grain size (a), Total abundance (b), Nematodes abundance (c), Total biomass (d), Nematodes biomass (e) variation in sand mining effect and non-effect area.

내로 감소하며, 2007년 11월, 12월에서는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 전체 중형저서동물의 서식밀도에서도 영향지역과 비영향지역의 퇴적물 평균 입도의 차이가 감소하는 2006년 11월부터는 큰 차이가 나타나지 않고, 그 이후의 서식밀도에서도 두 지역 간의 큰 차이는 나타나지 않았다 (Fig. 9).

가장 우점한 분류군인 선충류도 전체서식밀도와 유사

한 경향이 나타났다. 선충류의 서식밀도 변화를 영향지역과 비영향지역으로 구분하여 보면, 채취가 진행중인 2006년 10월 조사에서 영향지역의 선충류 서식밀도가 93 inds. 10 cm⁻²로 급감하고, 비영향지역에서는 156 inds. 10 cm⁻²로 채취이전 조사에서 나타난 148 inds. 10 cm⁻²보다 약간 증가하였다. 그 이후 2006년 11월과 2007년 1월 조사에서는 동계로 가면서 두 지역이 모두 감소하였다. 그리고 채취가 종료되고 약 10개월인 지난 2007년 8월 조사에서는 선충류의 서식밀도 값이 영향지역과 비영향지역에서 채취 이전인 2006년 8월과 비슷한 값으로 출현하였다 (Fig. 9).

해사채취의 영향에 따른 중형저서동물의 생체량을 보면, 서식밀도와 유사한 경향을 나타내고 있다. 영향지역에서는 퇴적물의 세립화가 이루어지는 시기인 2006년 10월에 전체 중형저서동물 생체량이 급격하게 감소를 하는 반면, 비영향지역에서는 증가하는 경향을 보였다. 그 이후 동계로 들어가면서 2006년 11월에는 두 지역에서 거의 같은 값으로 출현하였고, 2007년 1월에는 두 지역 모두 감소는 이루어졌으나 영향지역에서 큰 폭으로 감소하는 경향이 나타났다. 영향지역에서 가장 우점하는 선충류의 생체량을 퇴적상의 변화와 비교하여 보면, 영향지역의 선충류 생체량은 전체 생체량과 유사한 형태로 퇴적물이 세립화되어지는 2006년 10월, 11월, 2007년 1월로 가면서 계속 감소하며, 비영향지역보다 낮은 값을 보였다. 비영향지역에서는 채취가 진행중인 2006년 10월에는 약간의 증가가 있었고, 동계인 2006년 11월과 2007년 1월로 가면서 감소하였으나, 영향지역보다는 높은 값을 유지하였다. 그리고 2007년 8월과 11월에는 영향지역과 비영향지역에서 채취 이전 조사인 2008년 8월과 유사한 값을 나타내었다. 2007년 12월에서는 두 지역 모두 비슷한 생체량 값을 나타냈다 (Fig. 9).

결 론

우리나라 연안 사질 퇴적물에서의 연구, 특히 해사채취로 인한 중형저서동물 군집 구조에 미치는 영향 연구는 이루어지지 않았다. 본 논문에서는 지금까지 해사채취가 전혀 이루어지지 않았던 장봉도 인근의 연안 사질 퇴적물에서 해사채취에 따른 중형저서동물 군집 구조를 모니터링하기 위해 교란을 받은 영향지역과 영향이 없었던 비영향지역을 선정하여 그 변화과정을 파악하였다. 장봉도 해역은 천해사퇴적지역이며 강한 조류의 영향을 직접적으로 받는 곳이다 (MOF 2007).

서해 사질 퇴적물에서 중형저서동물 우점 분류군의 조성비를 보면, 가장 우점하는 분류군은 선충류이고, 그 다음으로 저서성 요각류, 갑각류 유생, 복모류가 출현하였다. 일반적으로 선충류는 저서생태계 중형저서동물 군집 중에서 우점하여 나타나는 분류군으로 알려져 있다 (Giere 1993). 또한 국내에서 조사되어진 중형저서동물의 군집에서 나타난 우점 분류군 결과와 비교하여 볼 때에 유사한 양상을 보였다 (Kim *et al.* 2002; Min *et al.* 2003; Kim *et al.* 2004).

교란은 생태계 내에서 직접적·간접적으로 생물 종의 서식밀도나 다양성을 감소시킨다 (Dermie *et al.* 2003). 해사채취로 인한 해저퇴적층의 교란 및 부유물질에 의한 재침전은 저서생물들에 직접적인 영향을 주고 있으며, 채취 지역의 생물 재가입은 일반적으로 해사채취가 완전히 끝난 후 시작된다 (Van Der veer *et al.* 1985).

본 연구에서의 대상 생물인 중형저서동물의 경우 해사채취로 인한 퇴적상의 변화로 서식밀도와 생체량이 해사채취 기간 동안 크게 감소하는 것을 알 수 있었다. 하지만 해사채취가 종료되고 약 1년 후에는 중형저서동물의 전체 서식밀도와 생체량 값이 채취 이전의 상태와 비슷한 값으로 다시 나타나는 것을 알 수 있었다 (Fig. 9). 해사채취로 인하여 영향을 받은 저서동물의 회복기간에 대한 연구를 보면, 해사채취 기간이나 해저지형의 형태, 퇴적물의 이동, 해수 흐름의 특성 등 다양한 환경 조건들에 의해서 결정되어지고 있다 (Newell *et al.* 1998).

조사기간 동안 수층 평균 염분분포는 27.4~31.3 psu, 수온분포는 5.9~24.4°C, 퇴적물 온도는 6.0~24.7°C의 범위를 보였다. 해사채취 지역인 정점 M에서는 해사채취가 진행 중인 2006년 10월, 11월 모래 함량 비율은 감소하였고, Silt와 Clay 함량은 증가하는 경향을 보였다. 또한 평균 입도 역시 3.79 Φ 로 더욱 세립화가 이루어졌다. 그러나 해사채취 종료 후 정점 M의 퇴적상은 다른 정점들과 유사해졌다. 해사채취 지역과 인접하는 정점 3, 4는 다른 정점들에 비하여 퇴적물 평균 입도의 변화가 크게 나타났다. 그러나 정점 M, 3, 4를 제외한 정점들에서의 퇴적상은 크게 변화를 보이지 않았다. 해사채취로 인한 교란으로 발생하는 부유물질은 해저에 퇴적되어 영향을 미치게 된다. 이러한 부유퇴적물은 조류에 의해 이동하며, 이 때 조립한 퇴적물은 짧은 거리를 이동 후 재퇴적되고 세립한 퇴적물은 좀 더 이동한 후에 퇴적이 이뤄진다 (Kim and Lim 2009). 해사채취로 부유한 세립한 퇴적물이 시간이 경과함에 따라 퇴적물 표층에 재퇴적되면 표층 퇴적물 입도는 감소하여 나타나게 된다 (Fleming 2000).

중형저서동물의 전체 서식밀도는 2006년 하계에서 동계로 가면서 감소하였고, 마찬가지로 2007년도 하계에서 동계로 가면서 감소하는 경향이 나타났다. 해사채취 지역인 정점 M에서의 전체 서식밀도와 유사하게 하계에서 동계로 가면서 감소하는 경향을 보였다. 해사채취지역에 가장 인접한 지역인 정점 3에서도 해사채취가 시작되면서 개체수가 급격하게 감소하였다. 정점 4에서는 퇴적물의 모래 함량비 감소와 세립화가 나타난 2007년 1월에 전체 서식밀도가 다른 지역에 비하여 크게 감소하였다. 해사채취 방식은 흡입 (Suction hopper dredge) 방식 중, 고정식과 이동식으로 구분되는데, 우리나라 연안의 대부분에서는 고정식이 사용되고 있고, 이 방식으로 해사를 채취한 웅덩이의 깊이는 이동식 흡입방식보다 깊게 형성된다 (Dickson and Lee 1973; Cho and Chang 2003). 본 연구 지역에서도 해사채취 후 웅덩이가 깊게 형성되는 고정식 흡입방식으로 해사채취가 진행되어졌기 때문에, 해사채취 기간 동안 서식밀도의 급감은 일차적으로 퇴적물 제거와 함께 퇴적물 내 많은 생물들이 같이 제거된 것으로 사료된다. 해사채취로 인하여 퇴적물과 그 안에 서식하던 생물이 제거되어지고 또한 부유물이 발생하여 확산되어져 재퇴적이 이뤄지게 되면 저서생태계는 영향을 받게 되는데, 일부 연구에서도 알 수 있듯이 표층 모래퇴적물 10cm의 제거는 생물 군집 회복률에 커다란 감소를 가져오는 것으로 나타났다 (Dermie *et al.* 2003).

조사 시기별로 우점 분류군인 선충류의 서식밀도의 변동은 전체 서식밀도 변동과 유사한 하계에서 동계로 가면서 감소하는 경향이 나타났다. 조사기간 동안 시기별 총 중형저서동물의 생체량은 서식밀도와 유사하게 하계에서 동계로 가면서 감소하는 경향을 보였다. 우점 분류군인 선충류의 생체량을 살펴보면, 전체 중형저서동물 생체량과 유사한 하계에서 동계로 가면서 감소하는 경향을 보였다 (Table 5). 계절의 변화가 뚜렷한 우리나라의 경우 저서동물 군집 분포에 영향을 주는 중요한 요인 중에 하나는 계절 변화이다. 일반적으로 중형저서동물은 겨울철의 낮은 온도로 인하여 전체 서식밀도가 감소를 하고, 여름철에는 기온이 높아져서 서식밀도가 증가하는 경향이 있다 (James and Mark 2004). 중형저서동물의 계절적 변동에 관한 연구 자료를 보면 민 등 (2006)의 태안군 이원 방조제 인근 조간대에서 봄철과 여름철의 중형저서동물 서식 특성 연구에서 봄철보다는 여름철에 서식밀도 높은 것을 볼 수 있고, 민 등 (2003)의 돌산도 울림에서 해초지와 인근 퇴적물에서 연구된 중형저서동물 서식밀도의 값을 보면, 동계에는 낮고 하계에는 높은 값을 나타내는 것으로 나타나 본 연구 결

과에서도 하계의 높은 서식밀도와 동계의 낮은 서식밀도는 계절적 영향이 중형저서동물 서식밀도에 영향을 미치는 것으로 보인다.

해사채취정점과 채취지역 인근 정점에서는 퇴적상의 변화와 중형저서동물의 서식밀도 역시 함께 변화가 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 조사 지역을 두 지역(영향지역, 비영향지역)으로 구분하여 분석한 결과, 2006년 10월 해사채취가 진행되어지고 있는 시기에 이루어진 조사에서는 영향지역에서의 퇴적물이 해사채취로 인해 평균입도가 세립화되어졌다. 영향지역과 비영향지역의 퇴적물 평균입도는 다른 시기에 비해 큰 차이가 나타났다. 이 시기에 전체 중형저서동물의 서식밀도는 영향지역에서 급감하고, 비영향지역에서는 증가하였다. 이 후 두 지역의 퇴적물 평균 입도 차이는 0.50 Φ 이내로 감소하고, 2007년 11월, 12월에서는 거의 차이가 없었다. 이 시기에 전체 중형저서동물 서식밀도, 생체량, 선충류 서식밀도와 생체량에서도 두 지역 간 큰 차이는 나타나지 않았다.

결론적으로 중형저서동물의 서식밀도와 생체량은 영향지역에서 해사채취가 진행 중인 시기에는 비영향지역에 비해 크게 감소하는 경향이 나타났다. 이러한 현상은 중형저서동물이 살아가는데 중요한 서식처인 퇴적물의 평균 입도가 해사채취 중에 나타나는 부유사의 영향으로 퇴적물 상층이 세립화 되고 또한 퇴적물 제거와 함께 중형저서동물이 같이 제거되는 것이 원인이라고 본다. 일반적으로 중형저서동물도 대형저서동물과 같이 퇴적물의 입도, 용존산소, 온도의 변화가 군집 구성을 변화시키는 원인으로 작용하게 된다(James and Mark 2004). 또한 중형저서동물의 크기는 대형저서동물에 비하여 매우 작은 크기이기 때문에 작은 환경의 변화가 중형저서동물 군집에 있어서 대형저서동물 군집보다 더욱 민감하게 반응을 할 수 있다(Sandulli and De Nicola 1991). 하지만 본 연구에서 해사채취로 인하여 채취 지역의 입도변화, 서식밀도나 생체량 값의 차이는 보이지만 CLUSTER analysis와 SIMPROF test 결과, 채취 지역과 인근 주변의 정점들과의 유의한 차이를 보이지는 않았다. SIMPROF test로 그룹이 형성된 4개의 그룹은 해사채취가 진행된 정점과 주변의 정점들이 조사 시기에 따라 그룹이 형성되는 경향을 보였다.

본 연구가 이루어진 주문도 인근해역의 천해사퇴지역은 대조차가 크게 나타나고 강한 조류의 영향을 직접 받는 지역으로 퇴적물의 이동이 빠르게 이루어져 해사채취로 인한 웅덩이의 메워짐이 빠르게 이루어질 수 있는 환경을 가지고 있다. 이러한 이유로 해사채취 후 퇴적상

이 빠르게 채취 이전의 상태로 복구 되었고, 중형저서동물의 서식밀도, 생체량, 선충류 서식밀도 및 생체량 값도 채취 후 빠르게 이전 상태와 유사하게 나타났다. 또한 본 연구에서 해사채취가 생태계에 미치는 영향을 파악하기 위하여 해사채취량이 많지 않았고, 채취 기간도 짧은 기간 동안에 이뤄졌다.

저서생태계의 교란으로 인한 회복은 염분도나 퇴적물 입도와 같은 서식환경에 따라 차이를 보이게 된다(Newell *et al.* 1998). 본 연구에서는 해사채취량이 지속적으로 많이 이뤄지지 않고 강한 조류의 영향으로 해사채취 웅덩이가 짧은 시간 내에 메워졌고, 또한 강한 조류로 인하여 주변 생물의 가입이 빠르게 나타나 해사채취 정점의 큰 영향이 나타나지 않은 것으로 사료된다. 다른 연구에 의하면, 해사채취 기간이 1년 정도 이뤄진 후 저서생태계의 서식밀도, 생체량, 종다양성이 회복되어지는데 걸리는 시간은 채취 종료 후 약 2~3년 정도 걸리는 것으로 알려졌다(Kenny and Rees 1994, 1996; van Dal-fsen and Essink 2001; Newell *et al.* 2002). 따라서 해사채취가 한 지역에서 집중되어 지속적으로 진행된다면 해저지형은 변화되고 모래퇴적물 특성은 변화되게 될 것이다(Kum *et al.* 2010). 이런 지속적인 해사채취가 일어난 지역의 저서생태계 회복은 더 많은 시간이 필요하게 될 것이다(Hill *et al.* 1999).

해사채취로 인한 영향을 보다 더 과학적으로 뚜렷한 결과를 얻기 위해서는 해사채취가 집중적으로 지속된 지역에서 장기간의 모니터링을 통한 생태계의 변화를 확인하고, 중형저서동물의 종수준의 분류를 통한 종조성의 변화를 확인함으로써 좀 더 명확한 영향을 알아봐야 할 필요성이 있다.

적 요

본 연구에서는 해사채취가 이루어지지 않았던 해역에서 해사채취에 따른 저서생태계 변화를 모니터링하였다. 인위적인 교란지역, 자연지역 등의 실험 지역을 선정하여 생태계에서의 중형저서동물이 해사채취로 인한 영향을 알아보았다. 연구는 강화도 남쪽에 위치한 장봉도 인근의 수심 20 m 내외의 주문지점에서 실시되었다. 조사 지역에서의 해사채취는 2006년 10월 21일부터 2006년 12월 10일까지 38,000 m³의 해사를 고정식 방법으로 진행되었다. 조사 지역에서의 시료 채집은 해사채취를 이전에 조사를 실시하고, 시범채취가 시작된 이후 2~7차 조사를 실시하였다. 본 연구에서 중형저서동물은 해사채

취로 인한 퇴적상의 변화로 서식밀도와 생체량이 해사 채취 기간 동안 크게 감소하는 것을 알 수 있었다. 하지만 해사채취가 종료된 후에는 전체 서식밀도와 생체량 값이 채취 이전의 상태와 비슷한 값으로 다시 나타나는 것을 알 수 있었다. 중형저서동물의 군집 변화를 보면, 해사채취 지역인 정점 M에서는 2006년 10월, 11월, 2007년 1월에 각 160.8, 102.3, 67.4 inds. 10 cm^{-2} 로 감소하는 경향을 보였으며, 2007년 8월, 11월, 12월에도 286.4, 231.7, 51.4 inds. 10 cm^{-2} 로 동계로 가면서 감소하는 경향을 보였다. 조사 지역을 두 지역(영향지역, 비영향지역)으로 구분하여 분석한 결과, 해사채취가 진행되고 있는 시기에 영향지역의 퇴적물이 해사채취로 인해 평균입도가 세립화되어졌다. 이 시기에 전체 중형저서동물의 서식밀도는 영향지역에서 2개월 전보다 급감하여 132.3 inds. 10 cm^{-2} 값이 나타났고, 비영향지역에서는 281.5 inds. 10 cm^{-2} 로 이전 조사보다 증가하였다. 이 후 2006년 11월부터는 두 지역의 퇴적물 평균 입도 차이가 0.50 Φ 이내로 감소하고, 2007년 11월, 12월에서는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 전체 중형저서동물의 서식밀도에서도 두 지역의 평균 입도 차이가 감소하는 2006년 11월부터는 큰 차이가 나타나지 않고, 그 이후의 서식밀도 역시 큰 차이는 나타나지 않았다. 하지만 CLUSTER analysis와 SIMPROF test 결과, 채취 지역과 인근 주변의 정점들과의 유의한 차이를 보이지는 않았다. 본 연구에서는 해사채취량이 지속적으로 많이 이뤄지지 않고 강한 조류의 영향으로 해사채취 웅덩이가 빠르게 메워졌고, 또한 강한 조류로 인하여 주변 생물의 가입이 빠르게 나타나 해사채취 영향이 크게 나타나지 않은 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 한국해양과학기술원 과제 (PE99202)에 의해 수행되었음.

REFERENCES

- Back JW, KC Kim, SH Lee, KH Lee, DJ Lee, JH Chae and W Lee. 2009. Meiofauna Community from Sandy Sediments Near Taean in the Yellow Sea, Korea. *Ocean Polar Res.* 31: 199-212.
- Boyd SE, KM Cooper, DS Limpenny, R Kilbride, HL Rees, MP Dearnaley, J Stevenson, WJ Meadows and CD Morris. 2004. Assessment of the re-habilitation of the seabed following marine aggregate dredging. *Sci. Ser. Tech. Rep. CEFAS.* 65-81, 109-118, 136-153.
- Cho DO and HB Chang. 2003. A Study of the supply and Demand of Seasands and Management. KMI. Seoul Media Group Press, Seoul. pp.1-3, 71-72.
- Clark RB. 2001. *Marine pollution*. 5th ed. Oxford University Press, Oxford. 236pp.
- Clarke KR and RN Gorley. 2006. *Primer v6: User manual/tutorial*. Primer-e Plymouth.
- Dernie KM, MJ Kaiser, EA Richardson and RM Warwick. 2003. Recovery of soft sediment communities and habitats following physical disturbance. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 285-286: 415-434.
- Dickson RR and A Lee. 1973. Gravel extraction: effects on seabed topography. *Offshore Ser.* 6:32-39.
- Flemming BW. 2000. The role of grain size, water depth and flow velocity as scaling factors controlling the size of subaqueous dunes. pp.55-60. In *Marine Sandwave Dynamics*, France.
- Folk RL and WC Ward. 1957. Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters: *Jour. Sed. Petrol.* 27: 3-26.
- Giere O. 1993. *Meiobenthology: The microscopic fauna in aquatic sediments*. Springer-Verlag, Berlin.
- Hill AS, LO Veale, D Pennington, SG Whyte, AR Brand and RG Hartnoll. 1999. Changes in Irish Sea benthos: Possible effect of 40 years of dredging. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 48: 739-750.
- James WN and DB Mark. 2004. *Marine Biology: An ecological approach*. Person Education, Inc.
- Kenny AJ and HL Rees. 1994. The effects of marine gravel extraction on the macrobenthos: early post dredging recolonization. *Mar. Pollut. Bull.* 28:442-447.
- Kenny AJ and HL Rees. 1996. The effects of marine gravel extraction on the macrobenthos: Results 2 years post-dredging. *Mar. Pollut. Bull.* 32:615-622.
- Kim CS and HS Lim. 2009. Sediment dispersal and deposition due to sand mining in the coastal waters of Korea. *Cont. Shelf. Res.* 29:194-204.
- Kim DS, WG Min and JH Lee. 2004. Variation of Meiobenthic Community in the Sediment of Coastal Area in Bangameori Daebudo, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 22:308-320.
- Kim DS, WG Min and WS Kim. 2002. Marine Meiobenthic Faunal Communities of the Sediments near Dokdo in the East Sea, Korea. *Ocean Polar Res.* 24:419-427.
- Kum BC, DH Shin, SK Jung, S Jang, ND Jang and JK Oh. 2010. Morphological Features of Bedforms and their Changes due to Marine Sand Mining in Southern Gyeonggi Bay. *Ocean*

- Polar Res. 32:337-350.
- Min WG, DS Kim and CI Choi. 2003. Comparison of Meiobenthic Faunal Communities in seagrass Bed and Adjacent Bare Sediment. *J. Kor. Soc. Oceanogr.* 8:1-13.
- Min WG, DS Kim and JH Lee. 2006. Community Structure and Spatial Variation of Meiobenthos Associated with an Artificial Structure. *J. Kor. Fish. Soc.* 39:223-230.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2007. A Study on Environment-Friendly Management Plan of Sand Excavation (III). 513:275-292.
- Newell RC, LJ Seiderer and DR Hitchcock. 1998. The impact of dredging works in coastal waters: A review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the sea bed. *Oceanogr. Mar. Biol.* 36:127-178.
- Newell RC, LJ Seiderer, NM Simpson and JE Robinson. 2002. Impact of marine aggregate dredging and overboard screening on benthic biological resources in the central North Sea: Production Licence Area 408. Coal Pit. Marine Ecological Surveys Limited. Technical Report No. ER1/4/02 to the British Marine Aggregate Producers Association (BMAPA). 72.
- Newell RC, LJ Seiderer, NM Simpson and JE Robinson. 2004. Impacts of marine aggregate dredging on benthic macrofauna off the south coast of the UK. *J. Coast. Res.* 20:115-125.
- Robert B. 2001. An improved protocol for separating meiofauna from sediments using colloidal silica sols. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 214:161-165.
- Sandulli R and M de Nicola. 1990. Pollution effects on the structure of meiofaunal communities in the bay of Naples. *Mar. Pollut. Bull.* 21:144-153.
- Sandulli R and M de Nicola. 1991. Responses of Meiobenthic Communities Along a Gradient of Sewage Pollution. *Mar. Pollut. Bull.* 22:463-467.
- Sarda R, S Pinedo, A Gremaare and S Taboada. 2000. Changes in the dynamics of shallow sandy-bottom assemblages due to sand extraction in the Catalan Western Mediterranean Sea. *ICES J. Mar. Sci.* 57:1446-1453.
- Shirayama Y. 1983. Size structure of deep-sea meio- and macrobenthos on the western Pacific. *Int. Rev. der Ges. Hydrobiol.* 68:799-810.
- Simonini R, I Ansaloni, AM Bonvicini Pagliai, F Cavallini, M Iotti, M Mauri, G Montanari, M Preti, A Rinaldi and D Prevelli. 2005. The effects of sand extraction on the macrobenthos of a relict sands area (northern Adriatic Sea): results 12 months post-extraction. *Mar. Pollut. Bull.* 50:768-777.
- Van Dalssen JA, K Essink, H Toxving Madsen, J Birklund, J Romero and M Manzanera. 2000. Differential response of macrozoobenthos to marine sand extraction in the North Sea and Western Mediterranean. *ICES J. Mar. Sci.* 57:1439-1445.
- van dalssen JA and K Essink. 2001. Benthic community response to sand dredging and shoreface nourishment in Dutch coastal waters. *Senck. Marit.* 31:329-332.
- Van Der Veer HW, MJN Bergman and JJ Beukema. 1985. Dredging activities in the Dutch Wadden Sea: Effects on macrobenthic infauna. *Neth. J. Sea. Res.* 19:183-190.

Received: 25 April 2014

Revised: 10 June 2014

Revision accepted: 11 June 2014